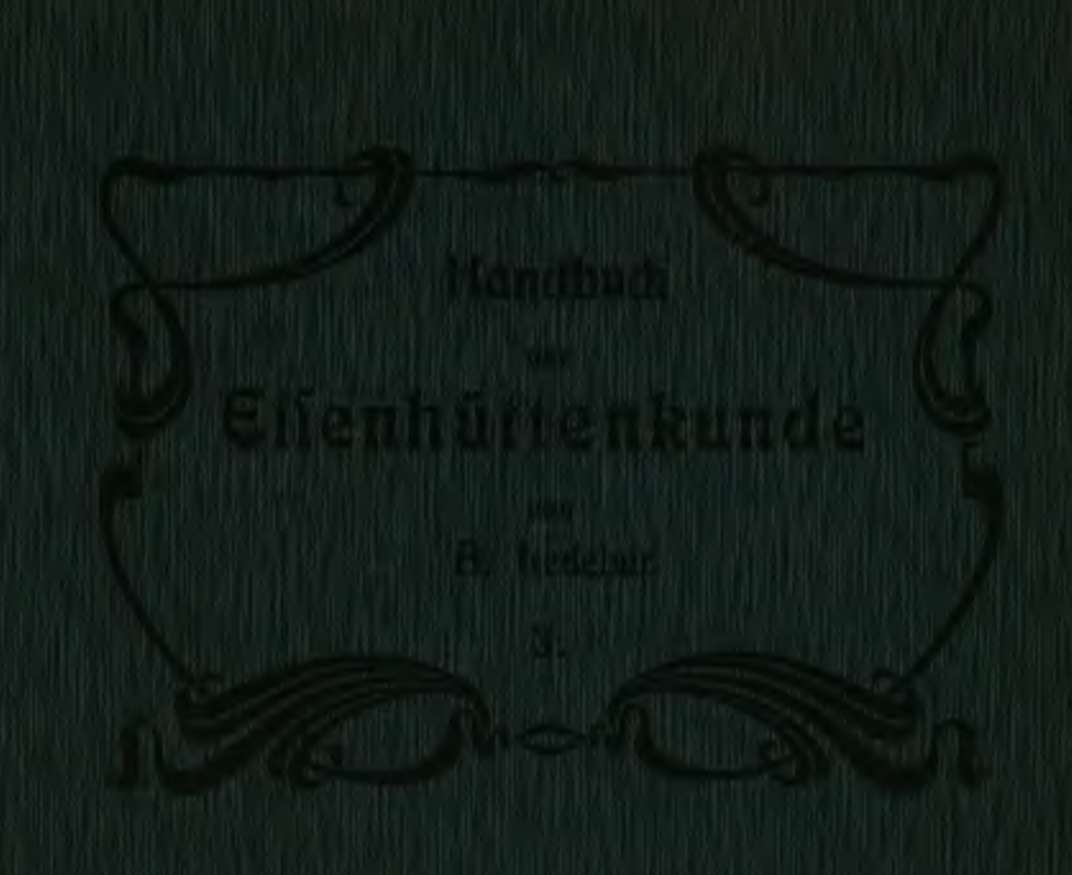
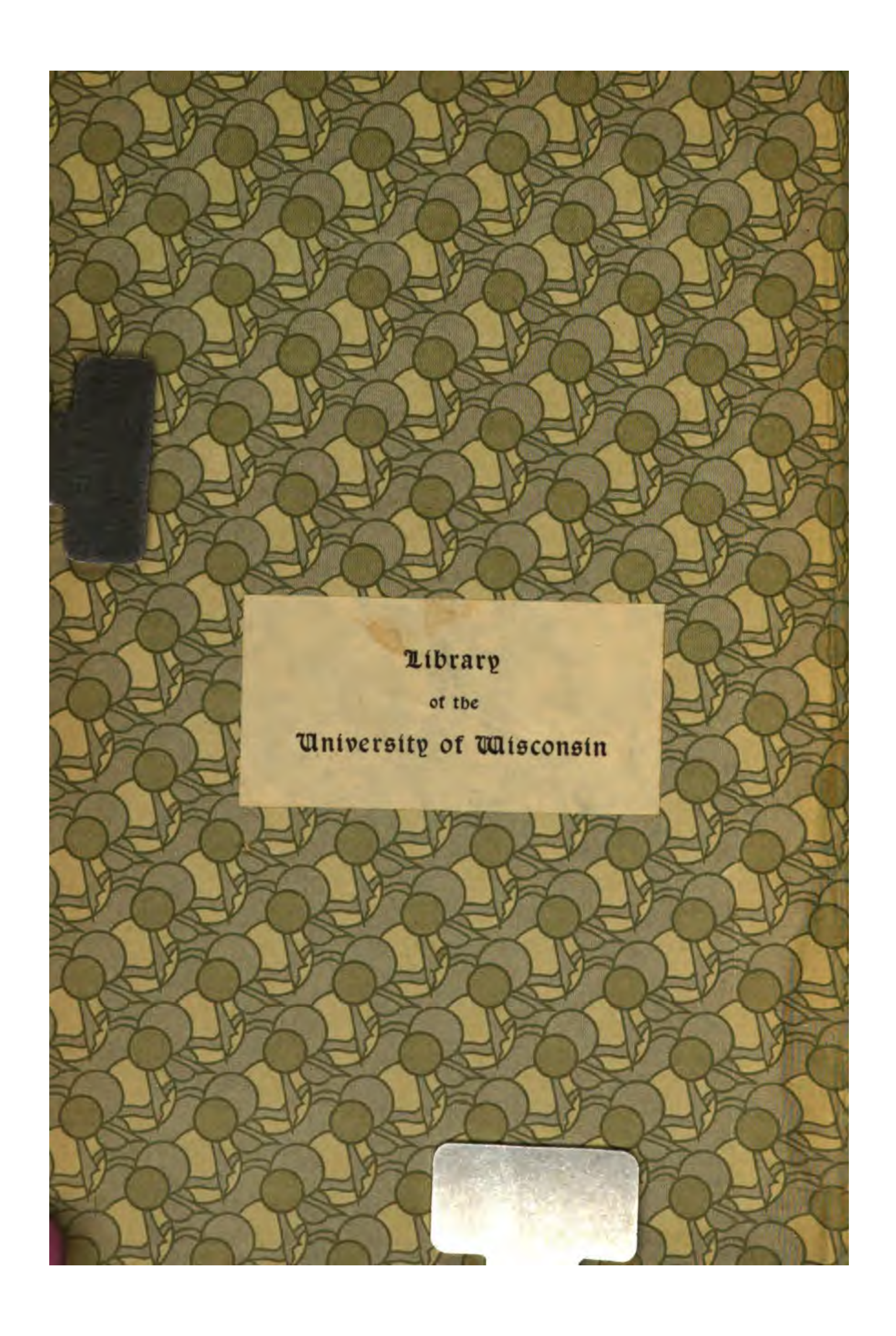

Handbuch
der
Eisenhüttenkunde
von
A. Ledebur
3.


Library
of the
University of Wisconsin



Piererscheche Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

HANDBUCH

DER

EISENHÜTTENKUNDE.

FUR DEN GEBRAUCH IM BETRIEBE WIE ZUR BENUTZUNG
BEIM UNTERRICHTE BEARBEITET

VON

A. LEDEBUR,
WEIL. GEHEIMEM BERGRAT UND PROFESSOR AN DER K. BERGAKADEMIE ZU FREIBERG IN SACHSEN.

FÜNFTE, NEU BEARBEITETE AUFLAGE.

DRITTE ABTEILUNG:

DAS SCHMIEDBARE EISEN UND SEINE DARSTELLUNG.

MIT ZAHLREICHEN ABBILDUNGEN, TEILWEISE ALS
TAFELN GEDRUCKT.

LEIPZIG,
VERLAG VON ARTHUR FELIX.
1908.

Vorwort.

Als Nachfolger meines unvergeßlichen Lehrers übernehme ich auf Wunsch der Erben und des Verlegers die Herausgabe der dritten Abteilung von Ledeburs Handbuch der Eisenhüttenkunde in fünfter Auflage.

Mit unermüdlichem Fleiß hat der Verstorbene bis zum letzten Augenblick seines schaffensfrohen Lebens an der Vervollständigung seines Werkes gearbeitet, und getreu den Grundsätzen, welche ihn bei der Bearbeitung früherer Auflagen leiteten, habe ich mich bemüht, seine Aufzeichnungen zu ordnen und durch neuere Literaturnachweise zu ergänzen.

Vorliegender Band ist der letzte Gruß des verstorbenen Altmeisters an alle seine Schüler, Freunde und Fachgenossen.

Freiberg i. S., März 1908.

Galli.

Inhaltsverzeichnis.

Dritte Abteilung.

Das schmiedbare Eisen und seine Darstellung.

Seite

I. Einteilung, Eigenschaften und Prüfung des schmiedbaren Eisens . . 3

1. Einteilung 3
2. Das Gefüge 4
3. Die Schmelztemperatur 8
4. Die Schmiedbarkeit und Dehnbarkeit 8
5. Die Schweißbarkeit 16
6. Die Härte und Härtbarkeit 24
7. Die Festigkeitseigenschaften 32

   a) Allgemeines 32. b) Schweißeisen und Flußeisen 34. c) Einfluß der chemischen Zusammensetzung 35. d) Einfluß der mechanischen Bearbeitung 47. e) Einfluß des Ablöschens (Härtens) 52. f) Einfluß des Ausglühens 56. g) Beizbrüchigkeit 64. h) Einfluß der Form und Größe des beanspruchten Querschnitts 65. i) Einfluß wiederholter Erschütterungen 67. k) Einfluß der Temperatur 68.

8. Das Verbrennen des schmiedbaren Eisens 73
9. Die Prüfung des schmiedbaren Eisens 76

   a) Chemische Untersuchung 76. b) Schmiedeprobe 78. c) Kaltbiegeprobe 79. d) Schlagprobe 80. e) Zerreißprobe 81. f) Härtungsprobe 82. g) Ätzprobe 84.

Literatur 89

II. Die Maschinen für die mechanische Veredlung und Formgebung . . 95

1. Erläuterungen 95
2. Die Hämmer 96

   a) Allgemeine Einrichtung 96. b) Stielhämmer 99. c) Dampfhämmer 103. d) Die Arbeit des Schmiedens 110.

3. Die Pressen 113

   a) Allgemeines 113. b) Die Einrichtung der Pressen 115. c) Die Arbeit des Pressens 118.

Seite

4. Die Walzwerke 119

a) Erläuterungen. Vorgänge beim Walzen 119. b) Die allgemeine Einrichtung der Walzwerke 123. c) Die einzelnen Teile des Walzwerks 126. d) Die Kalibrierung der Walzen 150. e) Die Universalwalzwerke 161. f) Die Walzenzugsmaschinen und der Arbeitsverbrauch beim Walzen 164.

5. Die Luppenquetschen und Luppenmühlen 166

Literatur 167

III. Die Darstellung des Schweißeisens 171

1. Allgemeines 171
2. Die Schweißeisendarstellung aus Erzen 173

a) Erläuterungen 173. b) Der Rennfeuerbetrieb 175. c) Der Stückofenbetrieb 178. d) Einige neuere Verfahren 183.

3. Der Frischfeuerbetrieb 185

a) Einleitung 185. b) Das Frischfeuer 187. c) Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse 188. d) Der chemische Verlauf des Frischfeuerschmelzens 191. e) Die Erzeugnisse des Frischfeuerbetriebes 194.

4. Das Puddeln oder Flammofenfrischen 195

a) Einleitung. Geschichtliches 195. b) Der Puddelofen 198. c) Das Arbeitsverfahren 207. d) Der chemische Verlauf des Puddelns 215. e) Die Betriebsergebnisse 220. f) Die Erzeugnisse 220.

Literatur 220

IV. Die Darstellung des Flußeisens 225

1. Über einige Eigentümlichkeiten des Flußeisens und die Mittel zur Erzielung dichter Güsse 225

a) Die Hohlräume im Flußeisen 225. b) Die Saigerung des Flußeisens 229. c) Die Mittel zur Erzielung dichter Güsse 233.

2. Die Gießvorrichtungen 246
3. Die Gußformen 253
4. Die Flußeisendarstellung aus Erzen 258
5. Die Versuche zur Flußeisendarstellung im Kupolofen 260
6. Die Tiegelstahldarstellung 260

a) Einleitung 260. b) Die Tiegel 262. c) Die Schmelzöfen 265. d) Das Arbeitsverfahren 269. e) Abarten des Verfahrens 272. f) Der chemische Verlauf des Tiegelstahlschmelzens 274. g) Der Tiegelstahl 280.

7. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen) 282

a) Allgemeines. Geschichtliches 282. b) Die Temperatur beim Windfrischen 284. c) Die Desoxydation und Kohlung des fertigen Metalls 288. d) Die Birne oder der Converter 290. e) Die Gebläse 309. f) Das Arbeitsverfahren und der äußere Verlauf des Windfrischens 310. g) Der chemische Verlauf des Windfrischens 320. h) Die Betriebsergebnisse 337. i) Die Erzeugnisse 339.

Seite

8. Das Martinverfahren 343

a) Einleitung 343. b) Der Martinofen 345. c) Die Einrichtung der Martinhütten 353. d) Das Arbeitsverfahren 355. e) Abarten des Verfahrens 360. f) Der chemische Verlauf des Martinschmelzens 362. g) Die Betriebsergebnisse 371. h) Die Erzeugnisse 375.

Literatur 378

V. Das Glühfrischen 386

1. Allgemeines 386
2. Die Glühmittel 388
3. Die erforderliche Zusammensetzung des Roheisens und das Schmelzen 389
4. Die Temperöfen nebst Zubehör 391
5. Das Arbeitsverfahren 393
6. Der chemische Verlauf des Glühfrischens 395
7. Das Erzeugnis 399

Literatur 400

VI. Die Darstellung des Zementstahls 401

1. Allgemeines 401
2. Der Zementierofen 402
3. Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse 406
4. Der chemische Verlauf des Zementierens 408
5. Das Erzeugnis 412

Literatur 413

VII. Die Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens 414

1. Einleitung 414
2. Die Verarbeitung des Schweißeisens 415

a) Allgemeiner Verlauf 415. b) Die Schweißfeuer und ihr Betrieb 418. c) Die Schweißöfen und ihr Betrieb 419.

3. Die Verarbeitung des Flußeisens 425

a) Allgemeiner Verlauf 425. b) Die Wärmöfen 426. c) Die Ausgleichgruben und Tieföfen 433. d) Die Vorrichtungen zur Beförderung der Arbeitsstücke 436.

4. Beispiele der Verarbeitung des Schweiß- und Flußeisens 439

a) Darstellung des Grobeisens 439. b) Darstellung des Feineisens und Walzdrahts 440. c) Darstellung des Bauwerkeisens 441. d) Darstellung der Eisenbahnschienen 442. e) Darstellung der Bleche 448. f) Darstellung der Panzerplatten 451.

5. Die Maschinen zur Zerteilung der Arbeitsstücke 453

a) Erläuterungen 453. b) Hebelscheren 453. c) Parallelscheren 455. d) Kreisscheren 459. e) Kreissägen 459.

Literatur 462

Sachverzeichnis 465

Druckfehlerberichtigung 470

Verzeichnis der Abbildungen.

Die Ziffern an der linken Seite des Textes geben die Nummern der Figuren, die Ziffern an der rechten Seite die Seitenzahl an.

1. Eisenerz- u. Steinkohlenbezirke der Vereinigten Staaten 18 I.
2. Eisenerz- und Steinkohlenbezirke Deutschlands u. Luxemburgs 20 I.
3. Eisenerz- und Steinkohlenbezirke Großbritanniens 24 I.
4. Holzkohlenmeiler 79 I.
5. Steinkohlenmeiler 87 I.
6, 7. Verkokungsofen nach Smet 93 I.
8—10. „ „ Coppée 94 I.
11—13. „ mit Gewinnung der Nebenerzeugnisse nach Dr. Otto & Co. 96 I.
14, 15. Koksausdrückmaschine 101 I.
16. Selbsttätige Beschickungsvorrichtung für Gaserzeuger 121 I.
17. Gaserzeuger für die Vergasung von Torf 122 I.
18, 19. Gaserzeuger nach Siemens 122 I.
20. Aschenfall-Verschluß f. Gaserzeuger 123 I.
21, 22. Gaserzeuger nach Duff 124 I.
23. „ „ Piétzka 125 I.
24, 25. Gaserzeuger mit Unterwind 126 I.
26, 27. Staubsammler u. Gasleitung 127 I.
28. Gasleitungsrohr (Heber) nach Siemens 128 I.
29. Vorrichtung zur Wasserverdichtung nach Lundin 129 I.
30. Schmiede im Barilande 142 I.
31. Flammofen aus dem 17. Jahrhundert 146 I.
32, 33. Allgemeine Anordnung d. Flammöfen mit Rostfeuerung 147 I.
34. Mit Holzgas geheizter Flammofen (Puddelofen) 152 I.
35—38. Siemensflammofen 154 I.
39, 40. Wärmespeicher der Siemensöfen 158 I.
41, 42. Siemensofen mit liegenden Wärmespeichern 159, 160 I.
43, 44. Bathoofen 161 I.
45, 46. Umsteuerungsvorrichtung (Glocke) für Siemensöfen 164 I.
47, 48. Umsteuerungsvorrichtung (Ventil) nach Forter 166, 167 I.
49. Boëtiusofen 173 I.
50, 51. Bicherouxofen 174 I.
52, 53. Drehofen nach Siemens 176 I.
54. „ „ Pernot 177 I.
55, 56. Schaukelofen von Campbell 178 I.
57, 58. Verankerung f. Schachtöfen 183 I.
59, 60. „ für Flammöfen 184 I.
61, 62. Dolomitbrennofen 193 I.
63, 64. Ofen zum Brennen von Converterböden 195 I.
65. Anordnung ein. Dolomitanlage 196 I.
66—69. Schaulinien der Schmelzbarkeit der Schlacken 211—216 I.
70. Erzwalzwerk 246 I.
71, 72. Erzquetsche oder Steinbrecher 248 I.
73. Japanische Erzwäsche 250 I.
74. Siegerländer Röstofen 264 I.
75. Cleveländer „ 266 I.
76, 77. Steirischer „ 268 I.
78, 79. Westmans „ 269 I.
80, 81. Fillafers „ 272 I.
82, 83. Ringofen zum Kalkbrennen 274 I.
84. Eisenkristall 283 I.
85. Schaulinie der Formveränderung des Eisens bei zunehmender Belastung 287 I.
86. Schaubild der Entstehung der Gefügebildner des Eisens 335 I.
87—101. Kleingefüge des Eisens 337 bis 344 I.
102—104. Hochofenprofile verschiedener Form 34 II.
105—107. Wie vorstehend 37 II.
108, 109. „ „ 38 II.
110. Toter Mantel im Hochofen 44 II.
111. Lage der Windformen im Hochofen 46 II.
112—120. Neuere Hochofenprofile 46 II.
121—123. Alter französischer Hochofen 48 II.

124, 125. Hochofen aus dem Jahre 1850 48 II.
126, 127. Hochofen aus dem Jahre 1867 51 II.
128—130. Hochofen mit Blechmantel aus dem Jahre 1874 52, 53 II.
131. Hochofen mit freistehendem Schacht zu Friedenshütte 54 II.
132. Hochofen mit freistehendem Boden 58 II.
133. Hochofen zu Donawitz 58 II.
134—136. Offene Brust bei Hochöfen 61 II.
137, 138. Windform für Hochöfen 63, 64 II.
139—141. Lürmanns Schlackenform 65, 66, 67 II.
142. Kühlkasten von Gayley 68 II.
143. Kühlkasten von Pollach 68 II.
144, 145. Stopfbuchsen für den Hochofenschacht 71 II.
146. Wasserabschluß für den Hochofenschacht 71 II.
147. Faber du Faurs Gasfang 75 II.
148. Ringförmiger „ von Pfordt 76 II.
149. Darbys Gasfang 78 II.
150. Parrys „ 79 II.
151. Gichtverschluß eines amerikanischen Hochofenwerks 82 II.
152, 153. Von Hoffs Gasfang 82 II.
154. „ „ „ mit doppeltem Verschluß 83 II.
155, 156. Langens Gasfang 84 II.
157. Buderus „ mit doppeltem Verschluß 85 II.
158. Wasserverschluß für Trockenreiniger 88 II.
159, 160. Trockenreiniger für Gichtgase 89 II.
161, 162. Staubfang mit Klappenverschluß 90 II.
163—165. Staubfänge 91, 92 II.
166. Naßreiniger für Gichtgase 93 II.
167. Theisens Gaswascher 93 II.
168, 169. Lürmanns Verbrennungskammer für Gichtgase 95 II.
170, 171. Liegendes Hochofengebläse 102 II.
172. Schwinghebelgebläse 105 II.
173. Serainggebläse 106 II.
174. Einzylindriges Clevelandgebläse 107 II.
175, 176. Zweizylindriges Clevelandgebläse 108 II.
177, 178. Eiserner Winderhitzer 115 II.
179. „ „ 116 II.
180, 181. Alter Whitwell-Winderhitzer 121 II.
182, 183. Cowper-Winderhitzer 122 II.
184, 185. Ziegeln der Cowper-Winderhitzer 124 II.
186, 187. Cowper-Winderhitzer mit Luftvorwärmung 124 II.
188. Boeckers Anordnung der Ziegeln in steinernen Winderhitzern 125 II.
189, 190. Burgers Ventil für steinerne Winderhitzer 126 II.
191. Wie vorstehend 127 II.
192, 193. Schmidts Absperrventil (Brille) für steinerne Winderhitzer 128 II.
194. Kompensator für Heißwindleitungen 131 II.
195, 196. Düsenstock aus den siebziger Jahren des vorigen Jahrh. 132 II.
197. Düsenstock der Dortmunder Union 132 II.
198, 199. Boeckers Düsenstock 134 II.
200. Manometer 138 II.
201, 202. Dampf-Gichtaufzug von Ehrhardt & Sehmer 150 II.
203. Amerikanischer Gichtaufzug mit selbsttätiger Entleerung 151 II.
204, 205. Anordnung eines Schrägaufzugs 152 II.
206. Förderwagen für Drahtseilbahnen 153 II.
207—211. Drahtseil-Gichtbahn 154 II.
212. Wassertonnen-Gichtaufzug 154 II.
213, 214. Luftdruck-Gichtaufzug 157 II.
215. Entladevorrichtung für Erze und Kohlen 160 II.
216, 217. Gichtkarren 169 II.
218. Schlackenwagen 172 II.
219, 220. Fahrbare Gießpfanne für Roheisen 173 II.
221. Uehlings Gießmaschine 176 II.
222, 223. Maschine zum Schließen des Stichlochs 178 II.
224, 225. Tiegelschmelzofen 297 II.
226, 227. „ nach Piat 299 II.
228. „ nach Baumann 300 II.
229—231. Gießereiflammofen 305 II.
232. Chinesischer Kupolofen 308 II.
233. Altfranzösischer Kupolofen 309 II.
234, 235. Kupolofen nach Ireland 315 II.
236, 237. „ „ Greiner und Erpf 317 II.
238—241. Kupolofen nach Krigar 318 II.
242. „ „ West 319 II.
243. Roheisenmischer 335 II.
244. Schaulinien der Festigkeit schmiedbaren Eisens in verschiedenen Temperaturen 69 III.
245. Schaulinien der Formveränderungen schmiedbaren Eisens in verschiedenen Temperaturen 71 III.
246—248. Schmiedeproben 78, 79 III.
249—255. Ätzproben 86—89 III.
256. Alter Aufwerfhammer 100 III.
257. „ Schwanzhammer 101 III.
258. Dampfhammer 107 III.
259 Hammerhütte in Creusot 109 III.
260. Vorgang des Streckens 111 III.
261. Ausführung des Streckens 112 III.

262. Amboßbahn 112 III.
263. Wasserdruck-Presse 116 III.
264. Wasserdruck-Presse 117 III.
265. Preßhütte von Haniel & Lueg 118 III.
266. Allgemeine Anordnung der Walzen eines Zweiwalzwerks 119 III.
267. Allgemeine Anordnung der Walzen eines Dreiwalzwerks 119 III.
268. Doppel-Duowalzwerk 120 III.
269. Vorgang beim Walzen 123 III.
270. Zweiwalzwerk (Luppenwalzwerk) 124 III.
271. Walze 126 III.
272. Vorgang beim Walzen 127 III.
273—275. Dreiwalzenständer 129 III.
276—279. Erdmanns Walzenständer 130 III.
280. Lagerung der Oberwalze bei Zweiwalzenständern 131 III.
281, 282. Blechwalzenständer 132, 133 III.
283—285. Blockwalzenständer 133 III.
286—288. Kleines Lauths-Walzwerk 136, 137 III.
289, 290. Großes Lauths-Walzwerk 138 III.
291, 292. Walztisch (Rollentisch) eines Lauths-Walzwerks 141 III.
293—295. Walztisch mit mechanisch angetriebenen Rollen 142 III.
296. Fahrbarer Rollentisch 144 III.
297. Kupplung 144 III.
298. Kupplungsmuffe 146 III.
299. Kammwalze 147 III.
300. Walzwerk mit Hohlkammwalzen 148 III.
301. Kammwalzengerüst 148 III.
302. Abnahmekoeffizienten der Walzenkaliber 151 III.
303. Spitzbogenkaliber 156 III.
304. Rundkaliber 156 III.
305, 306. Eisenbahnschienenkaliber 157 III.
307. Spitzbogenkaliber für Dreiwalzwerke 158 III.
308. Dreiwalzwerk für Feineisen 159 III.
309. Doppel-Zweiwalzwerk 160 III.
310. Universal-Zweiwalzwerk 162 III.
311, 312. Universal-Dreiwalzwerk 163 III.
313. Luppenquetsche 166 III.
314. Katalonisches Rennfeuer 176 III.
315, 316. Indischer Stückofen 179 III.
317—320. Japanischer Stückofen 180 III.
321. Japanisches Gebläse (Tatara) 181 III.
322, 323. Frischfeuer 187 III.
324. Schaulinien des Frischfeuerschmelzens 193 III.
325—328. Einfacher Puddelofen 199 III.
329, 330. Puddelofen mit Vorherd 202 III.
331, 332. Doppelpuddelofen mit Bicheroux feuerung 205 III.
333—335. Springers Doppelpuddelofen 206 III.
336—338. Puddelmaschine 213 III.
339—341. Schaulinien des Puddelns 217 bis 220 III.
342, 343. Gußblöcke mit Schwindungshohlräumen 226 III.
344, 345. Gußblöcke mit Gasblasen 228 III.
346—350. Vorrichtung nach Riemer zum Beheizen des Blockkopfes 237 und 238 III.
351. Dasselbe im Betriebe 239 III.
352, 353. Querschnitt eines nach dem Riemerschen Verfahren verdichteten und eines gewöhnlichen Blockes 240 III.
354, 365. Analysen verdichteter Blöcke 242 III.
356. Gasbläschen im Flußeisen 243 III.
357. Eiserne Gußform 243 III.
358, 359. Presse zum Verdichten von Stahlblöcken (Oberbilk) 244 III.
360, 361. Gießpfanne 247 III.
362, 363. Drehkran zum Gießen 248 III.
364, 365. Gießwagen 251 III.
366. Eiserne Gußform 256 III.
367, 368. Gußformgruppe für steigenden Guß 257 III.
369—371. Werkstatt für Anfertigung von Schmelztiegeln 264 III.
372—374. Wärmofen für Schmelztiegel 264 III.
375. Siemensofen zum Tiegelstahlschmelzen 267 III.
376—378. Oberirdischer Tiegelschmelzofen 268 III.
379—381. Thomasbirne 291 III.
382. " 293 III.
383. Bessemerbirne 294 III.
384. Düsen für den Birnenboden 296 III.
385. Bodenstampfvorrichtung 301 III.
386. Abstichrinne zum Einlassen des Roheisens in die Birne 303 III.
387. Thomashütte 304 III.
388. " 305 III.
389—391. Verschiedene Anordnungen der Birnen im Grundrisse der Bessemer- und Thomashütten 306—308 III.
392—394. Schaulinien des Bessemerverfahrens 321—324 III.
395—397. Schaulinien des Thomasverfahrens 327—329 III.
398, 399. Martinofen 346 III.
400, 401. Kopf eines Martinofens 350 III.
402, 403. Amerikanischer 50 t-Martinofen 351 III.
404. Martinhütte 354 III.
405. Beschickungsvorrichtung für Martinöfen 358 III.
406. Schaulinien des Martinschmelzens 366 III.
407, 408. Temperofen für schmiedbaren Guß 392 III.

409, 410. Engl. Zementierungsofen 403 III.
411, 412. Remscheider Zementierungsofen 404 III.
413. Steinverband bei Zementierkisten 405 III.
414. Kohlenstoffwanderung beim Zementieren 410 III.
415, 416. Schweißfeuer für Stahl 419 III.
417—419. Schweißofen mit Rostfeuerung 421 III.
420—422. Siemensschweißofen 422 III.
423, 424. Paketzieher 424 III.
425—427. Wärmofen mit Siemensfeuerung 427 III.
428—430. Wärmofen mit fahrbarem Herde 428 III.
431, 432. Rollofen 429 III.
433. Einsetzvorrichtung für Rollöfen 431 III.
434. Blockzieher 432 III.
435, 436. Ausgleichgruben 434 III.
437, 438. Tiefofen 435 III.
439. Blockzange 437 III.
440, 441. Elektrischer Blockzangenkran 438 III.
442, 443. Kettenzug für Blockbeförderung 438 III.
444. Kaliber für Winkeleisen 442 III.
445. Schneiden der Scheren 453 III.
446. Hebelschere 454 III.
447. Parallelschere 456 III.
448. Parallelschere mit Wasserdruckbewegung 458 III.
449. Eisenspaltwerk 459 III.
450. Kreissäge 461 III.

DRITTE ABTEILUNG.

DAS SCHMIEDBARE EISEN

UND

SEINE DARSTELLUNG.

I. Einteilung, Eigenschaften und Prüfung des schmiedbaren Eisens.

I. Einteilung [1]).

Wie auf Seite 5, I mitgeteilt wurde, läßt sich fast alles schmiedbare Eisen in zwei Gruppen, Schweißeisen und Flußeisen, sondern. Ersteres wird im ungeschmolzenen, aber stark erweichten Zustande gewonnen und ist mit Schlacke durchsetzt, welche bei dem Darstellungsverfahren gebildet wurde und zwischen den Eisenkörnchen zurückblieb; letzteres erfolgt im flüssigen Zustande und ist schlackenfrei, sofern nicht etwa durch Zufall Schlackenteilchen beim Ausgießen des flüssigen Metalls in die Gußform gelangt waren, ohne noch Zeit zu finden, vor dem Erstarren des Metalls an die Oberfläche emporzusteigen und sich hier abzusondern.

Weniger scharf ist in der Jetztzeit die Einteilung in Stahl und Schmiedeeisen (Seite 6 und 7, I). Stahl im engeren Sinne ist das kohlenstoffreichere, deshalb festere, härtere und deutlich härtbare Eisen; aber man hat sich gewöhnt, auch alles Flußeisen, es mag kohlenstoffreich oder kohlenstoffarm, hart oder weich sein, Stahl zu nennen. In folgendem wird der Ausdruck Stahl nur in dem erwähnten engeren Sinne gebraucht werden.

Sowohl das Schweißeisen als das Flußeisen lassen durch verschiedene Verfahren sich erzeugen und werden nicht selten demgemäß benannt. Die wichtigsten Arten des Schweißeisens sind das Frischfeuereisen, gewöhnlich Holzkohleneisen genannt, und das Puddeleisen; die wichtigsten Arten des Flußeisens das Bessemer- und Thomaseisen, das Martineisen und der Tiegelstahl.

Außerdem gibt es jedoch einige, in geringerer Menge als Schweiß- und Flußeisen erzeugte Arten schmiedbaren Eisens, welche ihrer Entstehung gemäß weder dem Schweißeisen noch dem Flußeisen zugerechnet werden können, obgleich sie mitunter als Zwischenerzeugnisse zur Darstellung der einen oder andern dieser Eisensorten benutzt oder auch aus ihnen erst durch ein nachfolgendes Verfahren erzeugt werden.

Glüht man z. B. ein silicium- und manganarmes Roheisen, ohne es zu schmelzen, in Berührung mit sauerstoffabgebenden

---

[1]) Vergleiche auch die unter Literatur genannte Abhandlung.

Körpern, z. B. Eisenoxyden, so wird der Kohlenstoff verbrannt und das Roheisen in schmiedbares Eisen umgewandelt (schmiedbarer Guß, Glühstahl).

Glüht man aber kohlenstoffarmes schmiedbares Eisen mit Kohle, so nimmt es Kohlenstoff auf und wandelt sich dadurch in Zementstahl um.

2. Das Gefüge.

Allgemeines. Sehnebildung.

Alles schmiedbare Eisen besitzt kristallinisch-körniges Gefüge. Deutlich erkennbar ist dieses Gefüge bei allem Flußeisen; auch beim Schweißeisen, sofern dieses durch einen plötzlichen Schlag oder Stoß abgebrochen wird. Zerreißt man indes einen im Walzwerke gestreckten Stab kohlenstoff- und phosphorarmen Schweißeisens durch allmählich gesteigerte Kraft (z. B. auf einer Festigkeitsprüfungsmaschine), oder kerbt man ihn auf der einen Seite mit einem Meißel ein und biegt ihn nun nach der entgegengesetzten Seite bis zum Eintreten des Bruches um, so erblickt man zahlreiche nebeneinander liegende Fasern oder Sehnen in derjenigen Richtung verlaufend, in welcher bei der Formgebung die letzte Streckung stattfand, bei einem Stabe also in seiner Längsrichtung. Ihre Entstehung ist eine Folge der Verschiebungen, welche die einzelnen Kristalle bei der Streckung in einer Temperatur erlitten, welche bereits tiefer lag als die, bei welcher eine völlige, dem Schmelzen vorausgehende Erweichung eintritt.

Diese Verschiebungen finden zunächst in der Weise statt, daß Kristalle, welche vor dem Strecken übereinander lagen, schräge Stellung gegeneinander erhalten, weil sie durch die Walzen um so weiter mitgenommen werden, je näher sie der Oberfläche liegen; solcherart bilden sich in der Richtung der Streckung Fasern aus zusammenhängenden Kristallen, die aber, ähnlich wie die Fasern oder Strähnen eines Taues, mit den Nachbarfasern geringeren Zusammenhang besitzen. Daher ist die Festigkeit sehnigen Eisens in der Querrichtung geringer als in der Richtung der Fasern.

Bei jener Biegung des erkalteten Eisens zum Zwecke des Abbrechens oder bei dem allmählichen Abreißen, wobei die eine Faser gewöhnlich stärker als die andere gestreckt wird, tritt nun eine fernere Verschiebung der Fasern übereinander ein, und diese selbst werden dem Auge bloßgelegt. Bricht man den Stab dagegen, ohne ihn zu biegen, kurz ab, indem man ihn einseitig einkerbt oder ringsherum einfeilt und dann einen scharfen kurzen Schlag ausführt, oder indem man ihn durch einen plötzlichen Stoß zerreißt, so gewahrt man auf der entstehenden, rechtwinklig gegen die Fasern gerichteten Bruchfläche eben nur die äußeren Begrenzungsflächen der nebeneinander liegenden Kristalle, also ein körniges Gefüge, und höchstens an einigen Stellen eine Andeutung der Sehnen.

Je weniger allmählich der Übergang zwischen dem festen und dem völlig erweichten Zustande des Eisens stattfindet, desto weniger

ist das Eisen zur Sehnebildung befähigt. Daraus erklärt sich, daß weder kohlenstoff- noch phosphorreiches Eisen sehniges Gefüge annehmen.

Ein Schlackengehalt erleichtert die Entstehung sehnigen Eisens. Die Schlacke ist in der Temperatur, bei welcher die Sehnebildung erfolgt, flüssig und befördert durch ihre Einlagerung das Gleiten der Kristalle übereinander. Daher zeigt auch das kohlenstoffärmste Flußeisen höchstens Andeutungen der Sehnebildung, wenn es stark gestreckt und in der angegebenen Weise behandelt wird.

Gewalztes Eisen neigt stärker zur Sehnebildung als gehämmertes, da beim Walzen jene Verschiebungen in der Längsrichtung, welche die Sehnebildung veranlassen, in stärkerem Maße stattfinden als beim Hämmern.

Sehr dicke Eisenstäbe zeigen im Innern niemals sehniges Gefüge, weil die zur Sehnebildung erforderlichen Verschiebungen ein um so geringeres Maß erreichen, je weiter die Stelle von der Oberfläche entfernt ist; auch werden die dickeren Stäbe bei der Bearbeitung weniger abgekühlt und verharren in einem weicheren Zustande, welcher der Sehnebildung nicht günstig ist.

Sehniges Eisen läßt sich durch Erhitzen zur Weißglut und Bearbeiten mit dem Hammer in körniges Eisen umwandeln.

Bei gutem sehnigen Eisen besitzen die einzelnen Sehnen bedeutende Länge; kurzsehniges Eisen ist minderwertig. Man pflegt einen Schwefelgehalt oder auch übermäßigen Schlackengehalt als die Veranlassung zur Entstehung kurzsehnigen Eisens zu betrachten.

Da die Sehnebildung, wie erwähnt, überhaupt nur in kohlenstoff- und phosphorarmen Eisensorten auftritt, läßt sie auf Leichtschmiedbarkeit, Leichtschweißbarkeit und Zähigkeit des betreffenden Eisens schließen. Falsch aber würde der Schluß sein, daß alles Eisen, von welchem die genannten Eigenschaften verlangt werden, nun auch bei dem Bruche sehniges Gefüge erkennen lassen müsse.

Nicht geeignet ist sehniges Schweißeisen für solche Verwendungen, wo ein Aufsplittern stattfinden kann: für Anfertigung von Draht, Nägeln, Triebwellen und anderem mehr.

Nicht selten gewahrt man auf der Bruchfläche gröberer Gegenstände aus Schweißeisen sehniges Gefüge neben grobkörnigem und feinkörnigem. Eine solche ungleichmäßige Beschaffenheit ist für das Verhalten des Eisens bei der Beanspruchung auf Festigkeit nicht günstig.

Einfluſs der chemischen Zusammensetzung.

Die Größe der auf der Bruchfläche erkennbaren Absonderungsflächen der einzelnen Kristalle (die Korngröße) wird durch die chemische Zusammensetzung des schmiedbaren Eisens beeinflußt. Einzelne Bestandteile befördern die Entstehung eines feinen Korns, andere machen das Eisen grobkörnig. Zu den ersteren gehören Kohlenstoff, Mangan, Wolfram; grobkörniges Gefüge wird vornehmlich durch Phosphor erzeugt. Wegen dieses Einflusses des Kohlenstoffgehalts ist Stahl feinkörniger als Schmiedeeisen, und mit seiner von dem Kohlenstoffgehalte abhängigen Härte

nimmt die Feinheit des Gefüges zu. Bei den härteren Stahlsorten (dem Werkzeugstahl) sind die einzelnen Absonderungsflächen mitunter so klein, daß sie mit unbewaffnetem Auge sich nicht mehr erkennen lassen und die Bruchfläche ein samtartiges, glanzloses Aussehen annimmt.

In Rücksicht auf den erwähnten Einfluß des Phosphors sowie auf den Umstand, daß Phosphor Kaltbruch erzeugt (Seite 354 I), pflegt man ein grobkörniges Gefüge des schmiedbaren Eisens als Zeichen des Kaltbruches zu betrachten. Das Merkmal muß jedoch, wenn es nicht zu Trugschlüssen führen soll, mit Vorsicht benutzt werden. Auch ein sehr kohlenstoffarmes und von sonstigen Beimengungen freies Eisen kann, sofern es in entsprechender Weise abgebrochen wurde, ein ziemlich grobkörniges Gefüge zeigen, während es, seiner Zusammensetzung entsprechend, sich durch große Zähigkeit auszeichnet (schwedisches Frischfeuereisen). Grobkörniges kaltbrüchiges, d. h. phosphorreiches Eisen unterscheidet sich durch stärkeren Glanz und bläuliche Farbe auf der Bruchfläche von dem kohlenstoffarmen und deshalb ebenfalls grobkörnigeren Eisen, dessen Farbe mehr gelblich erscheint. Nur ein geübtes Auge vermag indes diese Unterscheidungsmerkmale wahrzunehmen. Immerhin ist jenes grobkörnige Eisen mit geringem Phosphorgehalte selten, und in den meisten Fällen ist daher die erwähnte Beziehung richtig.

Einfluſs der mechanischen Bearbeitung.

Durch mechanische, auf der Geschmeidigkeit des Metalls beruhende Bearbeitung (Hämmern, Walzen, Ziehen) wird das Gefüge um so feinkörniger, in je weniger hoher Temperatur die Bearbeitung vorgenommen wird. Immerhin bleibt für die Beschaffenheit des hierbei entstehenden Gefüges doch in erster Reihe die chemische Zusammensetzung maßgebend, und das von Natur feinkörnige Eisen erhält auch bei der Bearbeitung unter gleichen Verhältnissen ein feinkörnigeres Gefüge.

Einfluſs der Erhitzung und Abkühlung.

Durch Erhitzung des schmiedbaren Eisens bis zum Glühen und darauf folgende Abkühlung erleidet sein Gefüge Veränderungen, welche verschieden sind nach Maßgabe der angewendeten Temperatur, der Zeitdauer des Glühens, der Geschwindigkeit der Abkühlung, der chemischen Zusammensetzung des Eisens und der vor der Erhitzung stattgehabten, die Beschaffenheit des Gefüges beeinflussenden Bearbeitung. Da jede Änderung des Gefüges auch Änderungen der Festigkeitseigenschaften des Eisens im Gefolge hat, ist eine tunlichst genaue Kenntnis aller jener hierbei eine Rolle spielenden Einflüsse wichtig. Leider sind die bis jetzt hierüber angestellten Versuche noch nicht genügend umfänglich und planmäßig, um ein vollständig klares Bild zu geben. Immerhin lassen sich folgende Regeln aus ihren Ergebnissen ableiten.

Wird Eisen auf jene Temperatur erhitzt, welche man die

untere kritische Temperatur oder den unteren Haltepunkt nennt, und deren Höhe von dem Kohlenstoffgehalte des Eisens abhängt (Seite 284 und 334 I), so nimmt es in dieser Temperatur ein feinkörniges Gefüge an, welches um so feinkörniger ist, je reicher das Eisen an Kohlenstoff ist. Wird nun das Eisen in der betreffenden Temperatur (dunklen Rotglut beim kohlenstoffreicheren, helleren Rotglut beim kohlenstoffärmeren Eisen) durch Eintauchen in Wasser rasch abgekühlt, so behält es jenes feinkörnige Gefüge bei, läßt man es langsam abkühlen, so wird das Gefüge, sobald die Temperatur unter den kritischen Punkt sinkt, um so weniger feinkörnig, je langsamer die Abkühlung sich vollzieht. Wird das bei rascher Abkühlung feinkörnig gebliebene Eisen allmählich wieder erwärmt (angelassen), so verliert das Gefüge schon unterhalb des kritischen Punktes um so mehr seine feinkörnige Beschaffenheit, je mehr die beim Ablöschen hinterbliebene Härtungskohle sich in Karbidkohle umwandelt (Seite 330 und 338 I).

War das Eisen durch mechanische Bearbeitung in der Kälte feinkörniger geworden, so verliert es dieses feinkörnigere Gefüge wieder, wenn es auf die genannte Temperatur erhitzt und ohne künstliche Beschleunigung abgekühlt wird.

Gegossene Gegenstände aus Flußeisen besitzen ein mehr oder minder ungleichmäßig ausgebildetes Gefüge, weil die Erstarrung und Abkühlung an verschiedenen Stellen nicht gleichzeitig, an den Außenflächen rascher, in den mittleren Teilen langsamer sich vollzog. Durch ausreichend langes Erhitzen auf die kritische Temperatur erhalten sie ein gleichartig körniges Gefüge, dessen Feinheit, wie bei dem geschmiedeten oder gewalzten Eisen, von dem Kohlenstoffgehalte und der Zeitdauer der späteren Abkühlung abhängt. Je größer der Querschnitt der Gegenstände ist, desto länger muß die Zeitdauer der Erwärmung sein, damit innerhalb des ganzen Querschnitts die zur Umwandlung des Gefüges erforderliche Temperatur erreicht werde.

Diese Gefügeänderungen vollziehen sich, wie erwähnt, wenn das Eisen bis zum unteren kritischen Punkte oder wenig darüber erwärmt wird. Bei Erhitzung auf höhere Temperaturen dagegen wird das Gefüge des Eisens grobkörniger, und es nimmt eine vollständig grobkristallinische Beschaffenheit an, wenn die Temperatur sich der Schmelztemperatur nähert. Dieses grobkristallinische Gefüge bleibt auch bestehen, wenn das Eisen allmählich auf gewöhnliche Temperatur abgekühlt wird; läßt man es auf eine Temperatur abkühlen, welche etwas oberhalb des unteren kritischen Punktes liegt, und löscht es alsdann durch Eintauchen in Wasser plötzlich ab, so wird das Gefüge zwar feinkörniger, aber in der Regel weniger feinkörnig, als wenn das Eisen überhaupt nur bis zur kritischen Temperatur oder wenig darüber erhitzt worden wäre. Hieraus folgt, daß eine zu starke Erhitzung auch mit nachfolgendem Ablöschen für die Entstehung eines feinkörnigen Gefüges eher hinderlich als förderlich ist.

Die Unterschiede in der Beschaffenheit des Gefüges, je nachdem das glühende Eisen rasch oder langsam abgekühlt wurde, sind um so erheblicher, je kohlenstoffreicher das Eisen ist, und die

Entstehung eines grobkristallinischen Gefüges vollzieht sich beim kohlenstoffarmen Eisen, dessen Schmelztemperatur hoch liegt, erst in höherer Temperatur als beim kohlenstoffreichen. Mitunter freilich will man die Entstehung eines grobkörnigen Gefüges des kohlenstoffarmen Eisens auch in einer Temperatur beobachtet haben, welche beim kohlenstoffreicheren Metalle die Entstehung eines feinkörnigen Gefüges befördert. So fand Stead, daß ein Eisen mit nur 0,01 v. H. Kohlenstoff nach der Erhitzung auf etwa 700° C. und darauffolgender allmählicher Abkühlung sehr grobkörniges Gefüge, nach der Erhitzung auf 900—1000° C. und allmählichen Abkühlung dagegen feinkörniges Gefüge angenommen hatte[1]). Daß in diesem Falle eine Erhitzung über 1000° C. hinaus bis nahe zum Schmelzpunkte wiederum die Entstehung eines grobkörnigen Gefüges veranlaßt haben würde, ist nicht zu bezweifeln.

3. Die Schmelztemperatur.

Die Schmelztemperatur des schmiedbaren Eisens hängt im wesentlichen von seinem Kohlenstoffgehalte ab, da andere Körper, welche hierbei von Einfluß sein könnten, nur in unerheblichen Mengen vorzukommen pflegen, und sie schwankt bei den meisten Arten zwischen 1350—1480° C. Le Chatelier fand für ein Eisen mit 0,1 v. H. Kohlenstoff 1475° C., mit 0,8 v. H. Kohlenstoff 1455° C., mit 0,9 v. H. Kohlenstoff 1410° C.[2]); nach Versuchen von Osmond lag die Schmelztemperatur eines Stahls mit 0,7 v. H. Kohlenstoff bei 1420° C. Stahl mit etwa 1,5 v. H. Kohlenstoff schmilzt demnach bei etwa 1360° C., mit 2 v. H. Kohlenstoff bei etwa 1310° C.

4. Die Schmiedbarkeit und Dehnbarkeit.

Erklärungen. Einfluſs der Temperatur.

Ein Körper heißt schmiedbar, wenn er befähigt ist, im erhitzten, aber ungeschmolzenen Zustande bleibende Formveränderungen durch Verschiebung seiner Teilchen zu ertragen, ohne zertrümmert zu werden. Der Zweck der Erhitzung hierbei ist eine Verringerung seines Widerstandes gegen jene Formveränderung, seiner Härte. Je weniger mechanische Arbeit erforderlich ist, um in jenem erhitzten Zustande eine bestimmte Formveränderung hervorzubringen, und je weniger leicht anderseits der Körper bei einer stattfindenden Formveränderung beschädigt wird, desto besser schmiedbar ist er. Schmiedbarkeit ist demnach Geschmeidigkeit (Bildsamkeit) in höherer Temperatur. Letztere Ausdrücke umfassen den weiteren, Schmiedbarkeit den engeren Begriff. Da in den Eisenwerken die Verarbeitung fast stets im heißen Zustande vorgenommen wird, ist die Schmiedbarkeit, welche der ganzen Eisengattung den Namen gegeben hat, die wichtigere Eigenschaft.

Eine bleibende Formveränderung eines Körpers tritt erst ein, wenn seine Elastizitätsgrenze bei der Bearbeitung überschritten

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1898, Seite 653.
[2]) Comptes rendus, Band 140, Seite 471.

wird; Beschädigung oder Zertrümmerung erfolgt, wenn das Maß der wirksamen Kraft seine Festigkeit übersteigt. Je weiter die Elastizitätsgrenze und Festigkeit des Körpers in der Bearbeitungstemperatur voneinander entfernt sind, je niedriger die erste und je beträchtlicher die letztere ist, desto geringer ist der für die Ausführung einer bestimmten Formveränderung erforderliche Arbeitsverbrauch und desto geringer auch die Gefahr für den Bruch, desto leichter bearbeitbar ist demnach der Körper, desto größer ist seine Geschmeidigkeit.

Die Elastizitätsgrenze des glühenden Eisens bei der Beanspruchung durch Stoßwirkungen oder Druckkräfte (Hämmern, Pressen, Walzen) liegt bedeutend tiefer als die des kalten, und in gleichem Maße ist der Arbeitsverbrauch für die Formveränderung geringer. Die Festigkeit gegenüber den genannten Beanspruchungen verringert sich, wenn das Eisen bis zum Glühen erhitzt wird, nicht in dem Maße wie die Elastizitätsgrenze; daher ist das Eisen durch jene Arbeiten besser im glühenden Zustande als in gewöhnlicher Temperatur verarbeitbar; es ist gut schmiedbar.

Die Schmiedbarkeit des Eisens wächst jedoch nicht gleichmäßig mit der Temperatur. Sie ist sehr gering in einer Temperatur, bei welcher das Eisen blau anläuft, wenn man eine Stelle durch Abschaben vom Glühspan befreit, d. i. bei 300—400° C. Die Elastizitätsgrenze ist hier der Festigkeit nahe gerückt, das Eisen ist spröde. War es zuvor in Rotglut bearbeitet und dabei auf die genannte gefährliche Temperatur (Blauhitze) erkaltet, so kann es, wenn die Verarbeitung fortgesetzt wird, Risse bekommen, welche, zunächst oft unbemerkt, Veranlassung zu späteren Brüchen geben können, und es verhält sich ungünstiger als selbst bei der Bearbeitung im nicht erhitzten Zustande. Stäbe, welche im kalten und im rotwarmen Zustande sich um 180° biegen und flach zusammenschlagen lassen, ohne einen Riß zu erhalten, brechen ab, wenn sie derselben Behandlung in der genannten Temperatur unterzogen werden, lange bevor die Biegung von 180° erreicht ist; ein gleicher Unterschied zeigt sich beim Strecken[1]). Man nennt die Erscheinung Blaubruch (Blaubrüchigkeit) in Rücksicht auf die erwähnte Kennzeichnung der gefährlichen Temperatur durch das Erscheinen der blauen Anlauffarbe. Auch in einer noch etwas tiefer liegenden Temperatur, in welcher das Eisen gelb oder braun anläuft, läßt sich die gleiche Sprödigkeit beobachten. Diese Eigenschaft des Eisens, in den genannten Temperaturen spröde zu werden, mahnt zur Vorsicht bei der Bearbeitung. Kühlt das zuvor glühende Eisen unter Rotglut ab, so muß es aufs neue erhitzt werden, bevor die Bearbeitung fortgesetzt werden darf; mancher Unglücksfall bei der späteren Benutzung des Eisens ist jedenfalls schon durch die Nichtbeachtung dieser Regel veranlaßt worden.

Während die Blaubrüchigkeit bei allen Sorten schmiedbaren Eisens wahrnehmbar ist, zeigt manches Eisen, welches in Weiß-

[1]) Versuche hierüber: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 20, Seite 21; ferner „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 849.

oder Gelbglut gut verarbeitbar ist, eine auffallende Abnahme der Schmiedbarkeit auch in Rotglut. Die Erscheinung heißt **Rotbruch**, das Eisen ist **rotbrüchig**. Ein in dem Eisen anwesender Gehalt gewisser Körper (Schwefel, Sauerstoff, Zinn u. a.), deren Einfluß unten ausführlicher besprochen ist, bildet die Ursache des Rotbruchs. Solches Eisen muß demnach, damit die Entstehung von Rissen vermieden werde, mit Vorsicht und nur in verhältnismäßig hoher Temperatur verarbeitet werden.

Eine dem Rotbruch ähnliche und nicht selten mit ihm verwechselte Erscheinung wird mitunter durch fremde Körper verursacht, welche dem Eisen nur mechanisch beigemengt sind, in der Schmiedetemperatur nicht flüssig werden, solcherart den Zusammenhang unterbrechen und um so leichter die Entstehung von Rissen beim Schmieden veranlassen, auf je dünnere Querschnitte das betreffende Eisenstück ausgestreckt wird. Man nennt die Erscheinung **Faulbruch**, das betreffende Eisen **faulbrüchig**. Vorzugsweise zeigt sich Faulbruch beim Schweißeisen, wenn dieses stark basische, zumal kalkhaltige Schlacken (sogenannte trockene Schlacken) enthält, welche zu strengflüssig sind, um beim Schmieden ausfließen zu können, und die Ursache zur Entstehung von Kantenrissen beim Schmieden oder Walzen von Gegenständen mit dünner Wandstärke bilden, während dasselbe Eisen in dickeren Stücken oft gut verarbeitbar ist. Ein von mir untersuchtes Schweißeisen, welches, zu dünnem Winkeleisen verwalzt, zahlreiche Kantenrisse zeigte, enthielt:

Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Arsen	Antimon	Kupfer
n. best.	0,00	Spur	0,028	0,020	0,019	0,056

also nur sehr geringe Mengen solcher Körper, welche Rotbruch hervorrufen. Der Schlackengehalt betrug 0,41 v. H.; die Schlacke enthielt 15,2 v. H. Kieselsäure, 26 v. H. Phosphorsäure, 4 v. H. Kalkerde, außerdem Tonerde und wie gewöhnlich, Eisenoxyde. Man kann nur diese Schlacke als Ursache der Entstehung jener Kantenrisse ansehen; das Eisen war nicht rot-, sondern faulbrüchig.

Einfluſs der chemischen Zusammensetzung.

Reines Eisen ist leicht schmiedbar. Im allgemeinen verringert sich die Schmiedbarkeit, wenn der Gehalt an Fremdkörpern zunimmt. Nicht alle fremden Bestandteile des Eisens jedoch benachteiligen in gleich starkem Maße die Schmiedbarkeit.

Mit zunehmendem Gehalte an **Kohlenstoff** verringert sich die Schmiedbarkeit allmählich und ziemlich gleichmäßig. Bei 2,6 v. H. Kohlenstoff ist sie beinahe vollständig verschwunden; solches Eisen bildet den Übergang zum Roheisen. Eine von mir untersuchte Eisenprobe mit 2,40 v. H. Kohlenstoff, welche daneben 0,07 v. H. Mangan, 0,01 v. H. Silicium, 0,007 v. H. Phosphor, 0,01 v. H. Schwefel und 0,08 v. H. Nickel und Kupfer, also nur eine geringe Menge von Fremdkörpern, enthielt, war in dunkler Rotglut schmiedbar, ertrug aber keine Erhitzung auf höhere Temperaturen. Findet sich neben dem Kohlenstoff ein größerer

Gehalt an sonstigen Fremdkörpern, so kann die Schmiedbarkeit schon bei weit niedrigerem Kohlenstoffgehalte aufhören.

Silicium beeinträchtigt die Schmiedbarkeit des kohlenstofffreien Eisens in schwächerm Maße als Kohlenstoff. Mrázek fand, daß ein fast kohlenstofffreies Siliciumeisen mit 7,42 v. H. Silicium in Weißglut schmiedbar war[1]; nach Hadfield waren Versuchsstäbe mit einem Siliciumgehalte bis zu 5,5 v. H. neben 0,14—0,26 v. H. Kohlenstoff in Gelbglut gut schmiedbar, während Proben mit 7,2 und 8,8 v. H. Silicium in Gelbglut unter dem Hammer in Stücke zerfielen[2].

Im scheinbaren Widerspruche hierzu steht die Tatsache, daß kohlenstoffarmes Flußeisen gewöhnlich schlecht schmiedbar ist, wenn man ihm zur Sauerstoffentziehung einen Siliciumzusatz (als Siliciumeisen) gab, ohne zugleich einen andern Körper (Mangan) zuzusetzen, welcher ebenfalls zerstörend auf das gelöste Eisenoxydul einwirkt. Schon bei 0,1 v. H. Silicium oder noch weniger will man in derartigen Fällen Rotbruch beobachtet haben. Die Wahrnehmung berechtigt zu dem Schlusse, daß das Eisen fähig sei, auch die entstehende Sauerstoffverbindung des Siliciums — vermutlich SiO_2 — zu lösen oder wenigstens in feiner Verteilung mechanisch zurückzuhalten, und daß diese das Eisen rotbrüchig mache. Fügt man neben dem Silicium Mangan zu, so schützt dieses das Silicium vor dem Verbrennen, indem es selbst mit dem Sauerstoff sich vereinigt, und das Silicium bleibt unschädlich.

Der im gewerblich dargestellten Eisen vorkommende Phosphorgehalt (fast immer weniger als 0,4 v. H.) übt auf die Schmiedbarkeit keinen merkbaren Einfluß aus. Nach mehrfach angestellten Beobachtungen[3]) ist Eisen mit ungefähr 1 v. H. Phosphor in Rot- und Weißglut noch ziemlich gut bearbeitbar, sofern es sonstige, der Schmiedbarkeit nachteilige Körper nicht enthält; bei welchem Phosphorgehalte die Schmiedbarkeit völlig aufhört, wurde bislang nicht ermittelt.

Als der gefährlichste Feind der Schmiedbarkeit in Rotglut gilt der Schwefel. Wie auf Seite 359 I mitgeteilt wurde, läßt sich in manganfreiem Eisen schon bei 0,04 v. H. Schwefel mitunter deutliche Neigung zum Rotbruch beobachten; jedenfalls ist im manganfreien oder manganarmen Eisen weniger als 0,1 v. H. Schwefel ausreichend, Rotbruch hervorzurufen. Ganz zuverlässige Ermittelungen über den Einfluß so geringer Schwefelmengen sind schwierig, weil neben dem Schwefel gewöhnlich kleine Mengen anderer Körper zugegen sind, welche einen gleichen Einfluß ausüben (Kupfer, Sauerstoff). Ein Mangangehalt wirkt jener Benachteiligung der Schmiedbarkeit durch Schwefel entgegen. Je höher der Mangangehalt ist, desto mehr Schwefel kann das Eisen enthalten, ohne seine Verarbeitungsfähigkeit in Rotglut einzubüßen.

---

[1]) Jahrbuch der österr. Bergakademien, Band 20, Seite 408; auch „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1002.

[2]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1889 II, Seite 222, in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1002.

[3]) Mitgeteilt in Howe, Metallurgy of steel, Band 1, Seite 73.

Nach Versuchen von Wasum[1]) verhielten sich Eisensorten mit verschiedenem Schwefel- und Mangangehalt folgendermaßen:

Zusammensetzung						Schmiedbarkeit
Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Kupfer	Mangan	Schwefel	
0,280	0,160	0,049	0,050	0,624	0,119	Gut.
0,293	0,141	0,065	0,040	0,695	0,158	Gut.
0,258	0,136	0,043	0,076	0,500	0,201	Stark rotbrüchig.
0,307	0,075	0,039	0,057	0,488	0,214	„ „
0,224	0,089	0,030	0.066	0,480	0,231	Sehr stark rotbrüchig. Zerfiel in Stücke.

Mit noch kohlenstoffärmerem Eisen stellte Thompson Versuche an[2]). Aus einer größeren Zahl der von ihm erlangten Ergebnisse mögen nachstehende hier eine Stelle finden.

Zusammensetzung				Schmiedbarkeit
Kohlenstoff	Phosphor	Mangan	Schwefel	
0,11	0,025	0,134	0,036	Nicht rotbrüchig.
0,05	0,075	0,192	0,056	Etwas „
0,07	0,070	0,140	0,074	„ „
0,09	0,035	0,350	0,100	Nicht „
0,06	0,035	0,220	0,100	Stark „
0,10	0,040	0,533	0,167	Nicht „

Der wohltätige Einfluß des Mangangehalts ist auch hier unverkennbar. Da nun Schweißeisen seiner Entstehungsweise gemäß niemals einen einigermaßen erheblichen Mangangehalt besitzen kann, Flußeisen dagegen fast stets einen Manganzusatz bei Beendigung des Herstellungsverfahrens erhält, ist ersteres empfindlicher gegen den Einfluß des Schwefels als letzteres. Daß übrigens rotbrüchiges Eisen doch in Weißglut gewöhnlich noch gut bearbeitbar ist, wurde bereits erwähnt.

Ähnlich, aber weniger kräftig als Schwefel, beeinträchtigt Sauerstoff (Eisenoxydul) die Schmiedbarkeit des Eisens. 0,1 v. H. Sauerstoff, entsprechend ungefähr 0,5 v. H. Eisenoxydul, erzeugt Rotbruch (Seite 296 I); in Weißglut dagegen kann auch sauerstoffhaltiges Eisen gut schmiedbar sein. Der Einfluß des Sauerstoffgehalts hat nur beim Flußeisen Bedeutung, da nur das geschmolzene Metall Sauerstoff aufzunehmen vermag. Durch einen Zusatz von Mangan zu sauerstoffhaltigem Eisen wird das gelöste Eisenoxydul

[1]) „Stahl und Eisen" 1882, Seite 192.
[2]) Iron Age 1896 I, Seite 810; daraus in „Stahl und Eisen" 1896, Seite 413.

zerstört und der Rotbruch verschwindet. Ein Überschuß von Mangan ist, wie bei allen chemischen Vorgängen, zur vollständigen Erreichung des Zieles erforderlich. Auch durch Aluminium oder Silicium ist eine Zerstörung des Eisenoxyduls erreichbar; aber keiner dieser beiden Körper ist fähig, auch den durch Schwefel hervorgerufenen Rotbruch zu beseitigen, und ein Siliciumzusatz allein ist, wie schon erwähnt wurde, nicht geeignet, die Erreichung des eigentlichen Zieles — Beseitigung des durch Sauerstoff erzeugten Rotbruchs — zu ermöglichen.

Einen sehr nachteiligen Einfluß auf die Schmiedbarkeit schrieb man früher dem Arsen zu; neuere Ermittelungen haben jedoch erwiesen, daß ein ziemlich hoher Arsengehalt im Eisen anwesend sein kann, ohne die Schmiedbarkeit erheblich zu schädigen. Harbord und Tucker beobachteten, daß Eisen mit 1 v. H. Arsen noch gut schmiedbar sein könne, sofern es nicht andere, die Schmiedbarkeit schädigende Körper (Sauerstoff) enthält[1]), und Stead fand, daß selbst bei einem Arsengehalte von 4 v. H. das Eisen sich noch bearbeiten ließ[2]). Auch durch Marchal wurde diese Beobachtung bestätigt[3]). Das auf Seite 375 I gegebene Beispiel der Zusammensetzung eines stark rotbrüchigen Eisens läßt indes erkennen, daß bei einem weit niedrigeren Arsengehalte Rotbruch auftreten kann, wenn daneben andere, in dem gleichen Sinne wirksame Körper zugegen sind.

In welchem Grade Antimon die Schmiedbarkeit zu schädigen vermag, ist bislang nicht mit Sicherheit ermittelt worden. Karsten beobachtete, daß ein Schweißeisen mit 0,23 v. H. Antimon stark rotbrüchig war[4]); später bestätigte Billings, daß schon ein ziemlich niedriger Antimongehalt, dessen Betrag jedoch leider nicht bestimmt wurde, das Eisen unschmiedbar mache[5]).

Über den Einfluß des Kupfers sowie des Kupfers und Schwefels zusammen auf die Schmiedbarkeit wurden durch Wasum Versuche mit sechs verschieden zusammengesetzten Proben angestellt[6]), deren Ergebnisse in der Tabelle auf Seite 14 zusammengestellt sind.

Ein Kupfergehalt von 0,452 v. H. neben 0,059 v. H. Schwefel blieb demnach ohne Nachteil, da neben diesen Körpern 0,778 v. H. Mangan zugegen waren, und sogar 0,862 v. H. Kupfer, neben dem ungefähr gleichen Schwefel- und Mangangehalte wie in dem ersten Falle, beeinträchtigte die Schmiedbarkeit noch nicht erheblich. Sie

---

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, Seite 183; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 577.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1895 I, Seite 77; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 653. Eine der von Stead für seine Versuche benutzten, im Walzwerke stark gestreckten Proben wurde auch von mir untersucht, wobei sich ein Arsengehalt von 3,8 v. H. ergab.

[3]) Bulletin de la Société d'encouragement 1898, Seite 1339.

[4]) Karsten, Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3. Aufl., Band 1, Seite 524.

[5]) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 50, Seite 453.

[6]) „Stahl und Eisen" 1882 Seite 192.

Zusammensetzung						Schmiedbarkeit
Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Mangan	Schwefel	Kupfer	
0,276	0,144	0,064	0,778	0,059	0,452	Sehr gut.
0,233	0,091	0,050	0,709	0,060	0,362	Gut; geringe Andeutungen von Rotbruch.
0,311	0,051	0,061	0,514	0,107	0,349	Wie vorstehend.
0,281	0,169	0,059	0,594	0,170	0,429	Rotbrüchig, aber nicht gänzlich unbrauchbar.
0,235	0,164	0,045	0,468	0,173	0,578	Wie vorstehend.
0,262	0,181	0,052	0,655	0,189	0,406	Wie vorstehend.

nimmt dagegen rasch ab, wenn der Mangangehalt fällt und der Schwefelgehalt steigt.

Auch Choubley beobachtete, daß verschiedene Stahlproben mit einem Kupfergehalte zwischen 0,36—0,48 v. H., einem Kohlenstoffgehalte von 0,50—0,60 v. H., einem Schwefelgehalte von 0,05 bis 0,07 v. H. und einem Mangangehalte von 0,36—0,54 v. H. gut schmiedbar in Rotglut und in höherer Temperatur waren[1]), und Lipin fand Proben, welche nur 0,10—0,15 v. H. Kohlenstoff, ebensoviel Silicium, 0,20—0,30 v. H. Mangan enthielten, selbst bei einem Kupfergehalte von 3,0 v. H. in Temperaturen von etwa 900° C. noch gut schmied- und walzbar, während sie mit 4,7 v. H. Kupfer nur noch mit großer Vorsicht bearbeitet werden konnten[2]).

Daß ein Zinngehalt von mehr als 1 v. H. die Schmiedbarkeit schädige und Rotbruch erzeuge, wurde auf Seite 375 I mitgeteilt. Der Einfluß des Zinns in dieser Beziehung ist zwar früher vielfach überschätzt worden; immerhin zeigten bei den auf Seite 375 I erwähnten Versuchen in Bismarckhütte Proben mit nur 0,1 v. H. Zinn Kantenrisse, wenn sie im Walzwerke gestreckt wurden, und mit dem Zinngehalte nahm diese Erscheinung an Deutlichkeit zu, während sie beim Schmieden unter dem Hammer sich als tadellos erwiesen.

Da ein Mangangehalt, wie erwähnt, dem schädlichen Einflusse des Schwefels und Sauerstoffs entgegenwirkt, betrachtet man ihn häufig als förderlich für die Schmiedbarkeit des Eisens. Diese Annahme ist jedoch nur bedingungsweise richtig. Ein mäßiger Mangangehalt (bis 0,7 v. H. oder wenig darüber) vermag allerdings die Schmiedbarkeit eines an den genannten schädlichen Körpern verhältnismäßig reichen Eisens zu erhöhen; ein hoher Mangangehalt ist der Schmiedbarkeit nachteilig, indem er die Widerstands-

---

[1]) Bulletin de la société de l'industrie minérale 1884 (Märzheft); auch in „Stahl und Eisen" 1884, Seite 374. Die Versuche wurden mit Stahlsorten angestellt, deren Phosphorgehalt man absichtlich auf etwa 0,2 v. H. angereichert hatte, um zu erproben, ob Kupfer neben Phosphor etwa nachteiliger sich verhalte als bei Wasums Versuchen.

[2]) „Stahl und Eisen" 1900, Seite 540; vergl. auch Seite 691 desselben Jahrganges (Ruhfus).

fähigkeit des Eisens gegen Formveränderungen erhöht, also die Aufwendung eines stärkeren Kraftaufwandes erforderlich macht. Da man bis jetzt nur manganreiches Eisen, welches zugleich einen hohen Kohlenstoffgehalt besaß, den Versuchen unterzog, ist es nicht möglich, genau die Einwirkung des Mangans allein auf die Schmiedbarkeit zu erkennen. Nach Howe ist Manganstahl in Gelbglut gut schmiedbar, setzt aber der Bearbeitung größeren Widerstand als reiner Kohlenstoffstahl entgegen und zerfällt beim Schmieden in Weißglut zu Stücken[1]). Hadfield stellte geschmiedete Probestücke mit einem Mangangehalte von 22 v. H. neben 2 v. H. Kohlenstoff dar[2]), ein Beweis, daß selbst ein hoher Mangangehalt auch die Schmiedbarkeit kohlenstoffreichen Stahls nicht ganz aufzuheben vermag.

Gering ist auch der Einfluß eines Nickelgehalts auf die Schmiedbarkeit. Man hat geschmiedete Nickeleisenlegierungen mit 49,5 v. H. Nickel neben 0,35 v. H. Kohlenstoff dargestellt; doch ist allerdings nach Riley Vorsicht beim Erwärmen und Schmieden erforderlich, wenn der Nickelgehalt über 25 v. H. hinausgeht[3]). Rudeloff und Wedding fanden Nickeleisenlegierungen mit 30 v. H. Nickel in Temperaturen zwischen 500—780° C. (Rotglut) nicht mehr schmied- und walzbar, während Legierungen mit 16 v. H. Nickel bei 720—760° C. sich zwar gut schmieden ließen, beim Walzen aber rissig wurden und zum Teil zerbrachen[4]).

Chrom steigert, wie Mangan, die Widerstandsfähigkeit gegen Formveränderungen und verringert dadurch mittelbar etwas die Schmiedbarkeit, ohne jedoch diese erheblich zu benachteiligen. Rotbruch wird nicht durch Chrom erzeugt; aber chromreiche Eisensorten ertragen weniger starke Erhitzung als chromärmere. Alle bisher für die Versuche benutzten chromreicheren Legierungen waren jedoch zugleich kohlenstoffreich, wodurch die Erkennung des Einflusses eines Chromgehalts erschwert wird. Nach Versuchen von Hadfield ließ sich Chromstahl mit 11,1 v. H. Chrom neben 1,27 v. H. Kohlenstoff noch gut schmieden, bei 15,1 v. H. Chrom und 1,79 v. H. Kohlenstoff war die Schmiedbarkeit sehr gering, bei 16,7 v. H. Chrom und 2,12 v. H. Kohle hatte sie gänzlich aufgehört[5]). Gleiche Angaben wurden durch andere Beobachter gemacht[6]). Erwägt man, daß auch die Schmiedbarkeit eines chromfreien Eisens bei etwa 2,6 v. H. Kohlenstoff aufhört, so gelangt man zu dem Schlusse, daß der Einfluß des Chromgehalts nicht sehr erheblich ist.

Ähnlich wie Chrom wirkt Wolfram. Wolframstahl mit etwa 7 v. H. Wolfram neben 2 v. H. Kohlenstoff ist nach Howe in

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 994.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 II, Seite 52.

[3]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1889 I, Seite 46 in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 860.

[4]) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1896, Seite 253.

[5]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II, in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 21.

[6]) Mehrere solcher, im wesentlichen übereinstimmender Angaben sind in Howe, Metallurgy of Steel, Seite 78 mitgeteilt.

heller Rotglut (Gelbglut) noch gut, in heller Gelbglut nicht mehr schmiedbar[1]). Die Abminderung der Schmiedbarkeit fällt hier offenbar nicht minder dem hohen Kohlenstoffgehalte als dem Wolframgehalte zur Last.

Aluminium, dem flüssigen schmiedbaren Eisen zugesetzt, verringert bei beträchtlichem Gehalte dessen Schmiedbarkeit, während geringe Mengen keinen merkbaren Einfluß ausüben. Hadfield fand, daß die Schmiedbarkeit aufhört, wenn der Aluminiumgehalt über 5,60 v. H. steigt, daß aber Eisen mit 2,2 v. H. Aluminium bei 0,24 v. H. Kohlenstoff sich noch recht gut schmieden ließ[2]).

Nicht immer ist es leicht möglich, die Ursachen von Rotbruch im Eisen zu entdecken. Denn zahlreiche Körper — Schwefel, Sauerstoff, Kupfer, Zinn und andere — vermögen Rotbruch zu erzeugen; sind mehrere von ihnen nebeneinander zugegen, so genügt von jedem schon eine verhältnismäßig kleine Menge, das Eisen rotbrüchig zu machen. Nicht selten kommt es vor, daß zwei ganz ähnlich zusammengesetzte Eisenproben sich abweichend beim Schmieden verhalten, wie nachstehendes Beispiel zeigt[3]):

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel	Arsen	Antimon	Kupfer	Sauerstoff
Rotbrüchiges Martineisen	0,10	0,06	0,29	0,17	0,07	0,02	0,05	0,18	n. best.
Gut schmiedbares Martineisen von demselben Werke	0,21	0,03	0,55	0,15	0,05	0,03	0,04	0,16	n. best.

Das rotbrüchige Eisen ist hier nur wenig reicher an Schwefel, aber ärmer an Mangan und deshalb vermutlich reicher an Sauerstoff[4]).

5. Die Schweißbarkeit.

Erklärungen.

Ein Metall ist schweißbar, wenn sich zwei Stücke desselben durch Druck oder Hammerschläge zu einem Ganzen vereinigen lassen. Zum Gelingen der Schweißung ist es erforderlich, eine Näherung der Oberflächen in solchem Grade herbeizuführen, daß die Anziehungskraft zwischen den vorher getrennt gewesenen Teilchen in Wirksamkeit tritt. Für dieses genaue Zusammenpassen der Berührungsflächen aber ist ein erweichter Zustand der ver-

[1]) Metallurgy of Steel, Seite 82.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1890 II, Seite 177.

[3]) Nach Untersuchungen des Verfassers.

[4]) Leider gibt es für die Sauerstoffbestimmung noch kein leicht auszuführendes und doch zuverlässiges Verfahren. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen" 1882, Seite 193; 1898 Seite 294; 1899 Seite 269.

einigenden Stücke notwendig; er wird durch Erhitzung jener Stücke herbeigeführt[1]).

Nicht alle Metalle sind gleich gut schweißbar; manche, welche plötzlich in den flüssigen Zustand übergehen, ohne zuvor jenen für die Schweißung notwendigen bildsamen Zustand zu durchlaufen, lassen sich in dem erläuterten Sinne überhaupt nicht schweißen. Unter sämtlichen Metallen aber zeichnen sich gewisse Arten schmiedbaren Eisens durch Leichtschweißbarkeit aus, und diese Eigenschaft gewährt eine wichtige Unterstützung für ihre Darstellung wie für ihre spätere Verarbeitung.

Einfluſs der chemischen Zusammensetzung.

Wie die Metalle im allgemeinen zeigen auch die einzelnen Arten des Eisens ein verschiedenes Maß der Schweißbarkeit, je nachdem der Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand plötzlicher oder allmählicher stattfindet. Eine je stärkere und allmählichere Erweichung vor der völligen Verflüssigung eintritt, desto besser schweißbar ist der Regel nach das Eisen. Im allgemeinen ist daher das reinste Eisen auch das am leichtesten schweißbare; denn fast alle fremden Körper erniedrigen die Schmelztemperatur und bewirken teils hierdurch, teils auch, indem sie unmittelbar die Härte und Sprödigkeit des Eisens in der unter dem Schmelzpunkte liegenden Temperatur steigern, einen plötzlicheren Übergang aus dem festen in den flüssigen Zustand. Aus diesem Grunde ist weder das Roheisen noch das an fremden Körpern reichere schmiedbare Eisen überhaupt schweißbar.

Das Maß des Einflusses, welchen gleiche Mengen verschiedener Körper in dieser Beziehung ausüben, ist jedoch abweichend. Der Umstand findet seine Erklärung, wenn man erwägt, daß auch die Schmelztemperatur und die Härte des nahe zum Schmelzen erhitzten Eisens in verschieden starkem Maße durch jene im Eisen auftretenden Körper beeinflußt werden.

Kohlenstoff verringert mit zunehmendem Gehalte die Schweißbarkeit merklich; aber ein Stahl mit 1 v. H. Kohlenstoff pflegt immerhin noch ohne große Schwierigkeit schweißbar zu sein, sofern er von sonstigen, die Schweißbarkeit benachteiligenden Körpern frei ist; ja selbst bei 1,2 v. H. Kohlenstoff zeigen einige Stahlsorten, wenn sie mit Vorsicht behandelt werden, noch Schweißbarkeit. Über diese Grenze hinaus hört die Schweißbarkeit auf; und schon bei noch niedrigerem Kohlenstoffgehalte kann sie ihr Ende erreichen, wenn neben diesem andere für die Schweißbarkeit nachteilige Körper zugegen sind.

Der Einfluß eines Siliciumgehalts ist — ebenso wie dessen Einfluß auf die Schmiedbarkeit — verschieden, je nachdem das Silicium schon bei der Entstehung des schmiedbaren Eisens (ins-

[1]) Eine der Schweißbarkeit im wesentlichen gleiche Eigenschaft besitzen auch verschiedene nichtmetallische Körper, deren Stücke im erwärmten und dadurch erweichten Zustande sich leicht zu einem Ganzen vereinigen lassen: Glas, Wachs, Pech u. a.

besondere Flußeisens) in diesem zugegen war oder erst später dem sauerstoffhaltigen Eisen zugesetzt wurde (Seite 11 III). In dem ersteren Falle kann das Eisen ziemlich siliciumreich sein, ohne merklich an Schweißbarkeit zu verlieren; in dem letzteren Falle kann schon ein niedriger Siliciumgehalt das Eisen unschweißbar machen. Mrázek versichert, daß ein von ihm durch Schmelzen von Eisendraht mit Quarz, Flußspat und Natrium erhaltenes manganfreies Siliciumeisen mit 7,42 v. H. Silicium und nur Spuren von Kohlenstoff noch schweißbar gewesen sei; auch ein von ihm geprüfter Bessemerstahl von Neuberg mit 0,97 v. H. Silicium, 0,47 v. H. Kohle und 0,94 v. H. Mangan erwies sich ohne Anwendung von Schweißpulver als leicht schweißbar[1]). Als aber Hadfield Eisenproben mit verschiedenem Siliciumgehalte darstellte, indem er geschmolzenem, kohlenstoffarmen und manganfreiem Eisen Siliciumeisen zusetzte, gelang es ihm nicht, ein schweißbares Erzeugnis zu gewinnen, wenn der Siliciumgehalt über 0,20 v. H. hinausging[2]). Die Beobachtungen des Betriebes stehen hiermit im Einklange. Verarbeitet man ein siliciumreiches Roheisen in hoher Temperatur auf Flußeisen und unterbricht das Frischen (Seite 300 I), bevor das Silicium ganz ausgeschieden ist, so pflegt das Erzeugnis schweißbar zu sein, auch wenn der Siliciumgehalt noch verhältnismäßig hoch sein sollte; setzt man aber entkohltem und demnach sauerstoffreich gewordenem Flußeisen Siliciumeisen zu, so erhält man meistens ein unschweißbares Erzeugnis. Auch der scheinbare Widerspruch, daß ein kohlenstoffreicheres Flußeisen mitunter trotz eines verhältnismäßig hohen Siliciumgehalts noch leichter schweißbar ist als ein kohlenstoffärmeres mit dem gleichen oder auch noch niedrigeren Siliciumgehalte, wird hierdurch erklärt. Kohlenstoffarmes, durch Frischen gewonnenes Flußeisen darf, um schweißbar zu sein, nur wenig Silicium enthalten; selten findet man in gut schweißbarem, weichem Eisen mehr als 0,02 v. H. Silicium. Neun Proben schweißbaren Eisens, welche von mir untersucht wurden, enthielten durchschnittlich 0,01 v. H. Silicium neben 0,14 v. H. Kohlenstoff; fünf Proben nicht schweißbaren Eisens dagegen enthielten 0,11 v. H. Silicium neben 0,22 v. H. Kohlenstoff[3]). Aus diesem Grunde bedienen sich Thomas- und Martinstahlwerke, welche Flußeisenblöcke für die Weiterverarbeitung in Walzwerken erzeugen, zur Desoxydation nur der Eisenmangane, während bei Erzeugung von Stahlformguß, von welchem eine Schweißbarkeit nur selten verlangt wird, ein mäßiger Zusatz von Siliciumeisen am Platze ist. (Vergl. Seite 11, Band III.)

Phosphor übt, sofern das Eisen kohlenstoffarm ist, nur geringen Einfluß auf die Schweißbarkeit. Schweißeisen mit 0,4 v. H. Phosphor[4]) und 0,1 v. H. oder weniger Kohlenstoff kann noch gut schweißbar sein; kohlenstoffreichere Eisensorten dagegen büßen

---

[1]) Jahrbuch der österr. Bergakademien, Band 20, Seite 408.
[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1889 II, Seite 222.
[3]) Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 10, Seite 181.
[4]) Von dem im Schweißeisen gefundenen Phosphorgehalte gehört allerdings meistens ein Teil der eingemengten Schlacke an, welche reich an Phosphorsäure zu sein pflegt.

an Schweißbarkeit ein, wenn sie neben dem Kohlenstoff auch Phosphor enthalten.

Schwefel, der zwar die Schmiedbarkeit des Eisens in Rotglut beeinträchtigt, unerheblicher aber in Weißglut, d. i. in derjenigen Temperatur, in welcher die kohlenstoffarmen Eisensorten überhaupt geschweißt werden, wirkt auf die Schweißbarkeit solches kohlenstoffarmen Eisens nicht sehr nachteilig ein, sofern seine Menge nicht allzu beträchtlich ist. Da man nun, um Rotbruch zu vermeiden, einen Schwefelgehalt von mehr als 0,10 v. H. im Flußeisen und von mehr als 0,04 v. H. im Schweißeisen tunlichst zu vermeiden sucht, bleibt die Einwirkung dieses niedrigen Schwefelgehalts auf die Schweißbarkeit ohne große Bedeutung. Holley fand, daß ein Schwefelgehalt von 0,046 v. H. die Schweißbarkeit von Schweißeisen nicht beeinträchtige [1]); nach Versuchen von Harbord und Tucker war sogar ein Flußeisen mit 0,128 v. H. Schwefel und 0,51 v. H. Mangan noch gut schweißbar [2]).

Sauerstoff (Eisenoxydul) verhält sich dem Schwefel ähnlich und beeinträchtigt nicht erheblich die Schweißbarkeit des kohlenstoffarmen Eisens, welches Erhitzung auf Weißglut erträgt. Ein durch das Thomasverfahren dargestelltes Flußeisen mit 0,087 v. H. Kohlenstoff und 0,244 v. H. Sauerstoff, welches in Rotglut unter dem Hammer in Stücke zerfiel, ließ sich in Weißglut ohne Schwierigkeit schweißen [3]).

Arsen verringert die Schweißbarkeit, doch sind die Angaben über das Maß seines Einflusses ziemlich verschieden. Åkerman gibt an, daß 0,05 v. H. Arsen das Eisen unschweißbar mache [4]); auch Stead fand bei seinen bereits erwähnten Versuchen, daß schon ein geringer Gehalt an Arsen die Schweißbarkeit schmälere, und daß aus diesem Grunde für Darstellung gut schweißbaren Eisens ein Arsengehalt fern gehalten werden müsse [5]). Harbord und Tucker beobachteten, daß ein kohlenstoffarmes Flußeisen mit 0,17 v. H. Arsen noch mit Vorsicht schweißbar sei, aber rasch seine Schweißbarkeit einbüße, wenn der Arsengehalt über dieses Maß steigt [6]); Marchal dagegen will eine Abnahme der Schweißbarkeit erst bei 0,2 v. H. gefunden haben und gibt an, daß erst bei 2,75 v. H. Arsen die Schweißbarkeit völlig aufhöre [7]).

Über den Einfluß des Antimons fehlen bislang genaue Ermittelungen; die wenigen angestellten Versuche lassen den Schluß zu, daß es mindestens in gleicher Weise nachteilig, wie Arsen, wirke [8]).

---

1) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 6, Seite 111.

2) The Journal of the Iron and Steel Institute 1886 II, Seite 701; 1903 I, Seite 196.

3) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreich Sachsen auf das Jahr 1883, Seite 22.

4) The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, Seite 195.

5) Fußanmerkung 2 auf Seite 13.

6) Fußanmerkung 1 auf Seite 13.

7) Fußanmerkung 3 auf Seite 13.

8) Karstens und Billings Versuche: Fußanmerkung 4 u. 5 a. Seite 13.

Zinn verringert die Schweißbarbeit des Eisens um so deutlicher, je höher dessen Kohlenstoffgehalt ist. Bei Versuchen in Bismarckhütte[1]) erwies sich ein Eisen mit 0,09 v. H. Kohlenstoff und 0,31 v. H. Zinn noch gut schweißbar, wurde aber unschweißbar, als man den Zinngehalt auf 0,65 v. H. steigerte; Eisen mit 0,63 v. H. Kohlenstoff dagegen war schon bei einem Zinngehalte von 0,23 v. H. unschweißbar.

Kupfer übt in den Mengen, in welchen es überhaupt im schmiedbaren Eisen auftritt (höchstens 0,4 v. H.), keinen erheblichen Einfluß auf die Schweißbarkeit aus. Holley fand ein Schweißeisen mit 0,81 v. H. Kupfer neben 0,08 v. H. Kohlenstoff, übrigens sehr rein von schädlichen Fremdkörpern, gut schweißbar; einige andere Proben von ähnlicher Zusammensetzung schweißten freilich weniger gut[2]). Auch ein von mir untersuchtes Flußeisen mit 0,86 v. H. Kupfer neben 0,10 v. H. Kohlenstoff, frei von Silicium, arm an Schwefel und Phosphor, war gut schweißbar[3]). Lipin fand ein Eisen mit 0,49 v. H. Kupfer neben 0,10 v. H. Kohlenstoff, 0,10 v. H. Silicium, 0,20 v. H. Mangan, 0,08 v. H. Phosphor und 0,02 v. H. Schwefel, also einer nur geringen Menge von Fremdkörpern außer Kupfer, noch gut schweißbar; bei einem Kupfergehalte von 0,86 v. H. des übrigens annähernd ebenso zusammengesetzten Eisens war die Schweißung nur noch mühsam zu bewirken, und bei 1,69 v. H. Kupfer war das Metall unschweißbar[4]).

Mangan verringert, wenn sein Gehalt über 1 v. H. hinausgeht, die Schweißbarkeit. Ein schon erwähnter, von Mrázek geprüfter Stahl mit 0,94 v. H. Mangan neben 0,97 v. H. Silicium und 0,47 v. H. Kohle war noch gut schweißbar; ebenso ein von Ratcliffe geprüftes Flußeisen mit 0,785 v. H. Mangan neben 0,026 v. H. Silicium und 0,158 v. H. Kohlenstoff[5]). Auch eine dem Verfasser vorliegende Stahlprobe mit 0,70 v. H. Mangan neben 0,47 v. H. Kohlenstoff und 0,12 v. H. Silicium ist gut schweißbar. In der Regel aber nimmt man an, daß der Mangangehalt tunlichst niedrig sein müsse, damit das Eisen gut schweißbar sei, und daß insbesondere ein kohlenstoffarmes Eisen, welches einer stärkeren Erhitzung zum Schweißen als ein kohlenstoffreicheres bedarf, auch manganarm sein müsse. In Eisen mit 0,10 v. H. Kohlenstoff soll der Mangangehalt nicht über 0,50 v. H. hinausgehen. Aus Beobachtungen des Betriebes läßt sich schließen, daß auch der Einfluß eines Mangangehalts, wie der eines Siliciumgehalts, zum Teil durch die Art und Weise bedingt wird, wie er in das Eisen gelangt ist; daß ein dem sauerstoffhaltig gewordenen Flußeisen zugesetzter Mangangehalt, soweit er nicht mit dem Sauerstoff ausgeschieden wurde, der Schweißbarkeit nachteiliger ist als ein Mangangehalt, welcher vom Beginne des Darstellungsverfahrens

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1901, Seite 330.

[2]) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 6, Seite 115.

[3]) Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 10, Seite 181.

[4]) „Stahl und Eisen" 1900, Seite 584.

[5]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1879 in „Stahl und Eisen" 1883, Seite 511.

an in dem Eisen zurückblieb. Umfänglichere Untersuchungen hierüber fehlen noch.

Nickel in geringeren Mengen als 1 v. H. beeinträchtigt die Schweißbarkeit nicht erheblich; bei höherem Nickelgehalte hört allmählich die Schweißbarkeit auf[1]).

Ein Chromgehalt von 0,5 v. H. oder noch weniger macht das Eisen unschweißbar. Hadfield fand, daß ein Flußeisen mit nur 0,29 v. H. Chrom, 0,16 v. H. Kohlenstoff, 0,07 v. H. Silicium, 0,29 v. H. Mangan nicht mehr schweißbar war[2]).

Ebenso nachteilig wirkt Aluminium. Eisen mit 0,61 v. H. Aluminium, 0,20 v. H. Kohlenstoff, 0,20 v. H. Silicium, 0,11 v. H. Mangan, von Hadfield geprüft, war völlig unschweißbar[3]); es ist wahrscheinlich, daß auch ein noch geringerer Aluminiumgehalt ausgereicht haben würde, die gleiche Wirkung hervorzubringen.

Ein Wolframgehalt schädigt die Schweißbarkeit in hohem Maße; selbst kohlenstoffarme Eisensorten mit 0,15 v. H. Kohlenstoff und 0,20 v. H. Wolfram sind nicht schweißbar[4]).

Zweck der Schweißpulver.

Damit die Schweißung möglich werde, ist Reinheit der zu vereinigenden Flächen von Oxyden oder anderen Körpern erforderlich. Eine Reinigung der Flächen durch mechanische Bearbeitung würde erfolglos sein, da das Eisen schon in niedrigeren Temperaturen als Schweißhitze sich rasch wieder mit Oxyden überzieht. Man erreicht dagegen den Zweck, indem man vor der Schweißung die Verbindungsflächen mit irgend einem Pulver bestreut, welches mit den entstehenden Oxyden eine in der Schweißtemperatur flüssige Schlacke bildet, die alsdann unter dem beim Schweißen angewendeten Drucke oder unter den Schlägen des Hammers aus der Fuge herausgequetscht wird. Solche Pulver heißen Schweißpulver. Ihre Zusammensetzung muß sich nach der Schweißtemperatur des zu schweißenden Eisens richten; diese aber liegt um so tiefer, je härter das Eisen (der Stahl), d. h. je höher sein Kohlenstoffgehalt ist.

Offenbar ist die Wahl des Schweißpulvers um so leichter, je höher die Schweißtemperatur liegt, je stärker also die entstehende Schlacke selbst erhitzt wird. Bei den kohlenstoffarmen Eisensorten genügt schon ein Bestreuen mit Sand oder Tonmehl; bei schlackenreichem Schweißeisen ist sogar die Anwendung eines besonderen Schweißpulvers nicht einmal unbedingt erforderlich, da ein Teil der eingeschlossenen, in der Schweißtemperatur flüssigen Schlacke auch die neugebildeten Oxyde auflöst und mit ihnen aus der Schweißfuge austritt. Dieser Umstand erklärt zum Teil die Tatsache, daß Schweißeisen durchschnittlich leichter als Flußeisen

---

[1]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1889 I, in „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 860.

[2]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II, Seite 92, in „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 21.

[3]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1890 II, Seite 180.

[4]) Vergl. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1309.

schweißbar ist[1]); eine sogenannte „saftige Schweißhitze“, bei welcher unter den die Schweißung bewirkenden Hammerschlägen oder dem Drucke der Walzen reichliche Schlackenmengen aus der Schweißfuge ausfließen, pflegt ein Merkmal einer gut gelingenden Schweißung zu sein.

Für solches kohlenstoffarmes Schweißeisen ist Weißglut die geeignetste Schweißtemperatur; mittelharter Stahl dagegen läßt sich nur in Gelbglut, harter in beginnender Gelbglut (Hellrotglut) schweißen. Auch Flußeisen erträgt, selbst wenn es sehr kohlenstoffarm sein sollte, nicht ganz jene hohe Temperatur wie Schweißeisen.

Die Zusammensetzung der verschiedenen zum Stahlschweißen benutzten Schweißpulver ist mannigfaltig. Gewöhnlich enthalten sie Alkalien, da diese stärker als die meisten anderen Basen die Schmelztemperatur der Schlacken abmindern; bisweilen Baryt (Schwerspat), welcher ebenfalls dünnflüssige Schlacken bildet; Borax oder Borsäure in Rücksicht auf die auflösende Wirkung der letzteren. Häufig setzt man diesen, die Schmelzung der Schlacke bewirkenden Bestandteilen auch solche zu, welche Kohlenstoff enthalten und den Kohlenstoff des Stahls vor dem Verbrennen beim Erhitzen schützen sollen. Blutlaugensalz ist ein nicht selten für diesen Zweck benutzter Körper.

Gut bewährt zum Schweißen harten Werkzeugstahls ist ein Gemisch aus 6 Teilen Borax und 7 Teilen Feilspänen; sonstige Vorschriften für Schweißpulver sind z. B.:

	Borsäure	41,5	Gewichtsteile,
	Kochsalz	35,0	„
	Blutlaugensalz	15,5	„
	Gebrannte Soda . . .	8,5	„
oder			
	Borax	8	„
	Blutlaugensalz	1	„
	Salmiak	1	„

u. a. m.

Anwendung der Schweißbarkeit. Festigkeit der Schweißstellen.

Die Schweißbarkeit des Eisens gewährt ein vortreffliches Mittel ebensowohl, um bei der Herstellung von Gebrauchsgegenständen getrennte Stücke oder Enden (bei ringförmigen Körpern) zu einem Ganzen zu vereinigen, als auch, um bei der Herstellung des Handelseisens aus Schweißeisen eine Reinigung von Schlacke

[1]) Ein anderer Grund ist der durchschnittlich höhere Gehalt des Flußeisens an Fremdkörpern (Mangan, Silicium, Schwefel). Es kommt hinzu, daß das Flußeisen eine andere Behandlung beim Schweißen als Schweißeisen verlangt. Es muß rasch, aber nicht allzu stark erhitzt und durch kräftige, rasch aufeinander folgende Hammerschläge geschweißt werden. Arbeiter, welche nur mit der Bearbeitung von Schweißeisen vertraut sind, werden Flußeisen nicht selten für unschweißbar erklären, auch wenn es bei richtiger Behandlung ganz gut schweißbar sein sollte. Einiges Nähere hierüber in den Mitteilungen des mechanisch-technischen Laboratoriums der technischen Hochschule zu München, Heft 12, Seite 36 (Bauschinger).

zu erzielen. Die Anwendung des Schweißens für diesen Zweck beruht auf dem Umstande, daß bei der mechanischen Bearbeitung — Streckung — des Eisens in Schweißtemperatur Schlacke ausfließt und demnach um so reichlicher entfernt wird, auf je dünnere Querschnitte man das Eisen ausstreckt. Indem man also zunächst Stäbe oder Platten von dünneren Querschnitten erzeugt, diese zerschneidet, zusammenschweißt und abermals ausstreckt, erhält man ein schlackenärmeres Erzeugnis, als wenn man das frisch dargestellte Schweißeisen ohne weiteres zu der vorgeschriebenen Form ausarbeiten wollte. Auch Abfälle, Ausschußstücke oder Alteisen werden auf Grund ihrer Schweißbarkeit wieder verwertet, indem man sie zusammenschweißt und aufs neue ausstreckt.

Dennoch darf nicht außer acht gelassen werden, daß man nach stattgehabter Schweißung zweier Eisenstücke nicht imstande ist. ohne Anstellung einer mechanischen Prüfung der Schweißstelle mit Sicherheit zu erkennen, ob auch die Schweißung gelungen ist, und es muß betont werden, daß auch die gelungenste Schweißstelle gewöhnlich nicht ganz die Festigkeit und Zähigkeit des ungeschweißten Eisens besitzt[1]). Nicht selten läßt sich durch mehrmals wiederholtes Hin- und Herbiegen einer Schweißstelle mit scheinbar gut gelungener Schweißung die Verbindung wieder lösen.

Bei Versuchen, welche durch einen vom Vereine zur Beförderung des Gewerbfleißes ernannten Ausschuß über die Schweißbarkeit des Eisens angestellt wurden, ergab sich, daß die Festigkeit

ungeschweißten harten Flußeisens (mit etwa 0,2 v. H. C, 0,3 bis 0,8 v. H. Mn) 1,725 mal so groß war als die des geschweißten;

ungeschweißten weichen Flußeisens (mit etwa 0,1 v. H. C, 0,2 v. H. Mn) 1,410 mal so groß war als die des geschweißten;

ungeschweißten Schweißeisens 1,229 mal so groß war als die des geschweißten[2]).

Wenn auch bei diesen Versuchen das ungünstigere Verhalten des Flußeisens vielleicht durch eine nicht ganz sachgemäße Behandlung beim Schweißen verursacht sein mag, und wenn tatsächlich die Verfahren für Flußeisendarstellung seitdem weitere Vervollkommnung erfahren haben und man insbesondere die für Darstellung schweißbaren Flußeisens zu erfüllenden Bedingungen besser kennen gelernt hat, haben doch auch mehrfache andere Versuche die Tatsache bestätigt, daß die Festigkeit geschweißten Eisens durchschnittlich geringer ist als diejenige des ungeschweißten[3]). Dieser Umstand verleiht dem ungeschweißten Flußeisen, welches einer Reinigung von Schlacke und demnach einer Schweißung zum Zwecke der Reinigung nicht bedarf, ein Übergewicht über das Schweißeisen, wenn das Fertigerzeugnis mechanischer Beanspruchung

---

[1]) Vergl. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 290.

[2]) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1883, Seite 146.

[3]) Beispiele: Mitteilungen des mechanisch-technischen Laboratoriums der technischen Hochschule zu München, Heft 12, Seite 35; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 89 (Bauschinger); Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1884, Nr. 8, auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1884, Seite 271.

ausgesetzt ist. Gegenstände aus ungeschweißtem Flußeisen besitzen in solchen Fällen fast immer eine längere Dauer als aus Schweißeisen. Eisenbahnschienen, aus Schweißeisen (Schweißstahl) gefertigt, splittern unter der Einwirkung der darüber rollenden Räder im Laufe der Zeit auf, indem die Schweißfugen allmählich sich lösen; ähnlich verhalten sich zahlreiche andere Gegenstände, die auf Abnutzung durch mechanische Einflüsse in Anspruch genommen werden.

6. Die Härte und Härtbarkeit.

Erklärung.

Unter dem Ausdrucke Härte ist hier, wie in der Mineralogie, das Maß des Widerstandes verstanden, welches das Eisen dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt. Von der Härte im weiteren Sinne, d. h. dem Maße des Widerstandes gegen Formveränderungen überhaupt, wird bei Besprechung der Festigkeitseigenschaften die Rede sein, da diese Härte zum großen Teile von dem elastischen Verhalten des Eisens abhängt.

Einfluß der chemischen Zusammensetzung.

Das reine Eisen ist verhältnismäßig weich, und seine Härte wächst mit dem Gehalte an fremden Körpern. Die Einflüsse dieser letzteren auf die Härte des Eisens wurden bereits in der ersten Abteilung der Eisenhüttenkunde besprochen. Es geht daraus hervor, daß von den in dem Handelseisen häufiger auftretenden Körpern vorzugsweise Kohlenstoff in Form der Härtungskohle und Mangan deutliche Härtesteigerungen hervorbringen. Kohlenstoff aber wirkt ungleich kräftiger als Mangan, und der durch Mangan hervorgerufene Härtegrad steigt und fällt nicht in gleichem Verhältnisse mit dem Mangangehalte, sondern ist bei 6 v. H. Mangan beträchtlicher als bei 10 v. H., und nimmt erst wieder zu, wenn der Mangangehalt über letzteres Maß hinausgeht. Nach Versuchen Brinells[1]) steigert je 0,1 v. H. Kohlenstoff die Härte des Eisens (Flußeisens) im Mittel um 19,8 v. H. des Härtegrades reinen Eisens, 0,1 v. H. Mangan bei einem Gehalte bis 0,8 v. H. nur um 4 v. H. Als mittlere durch 0,1 v. H. Silicium hervorgerufene Härtesteigerung fand derselbe Forscher 6,4 v. H.; Silicium erhöht demnach, wenn jene Beobachtungen zuverlässig sind, die Härte in beträchtlicherem Grade als Mangan. Andere Körper, welche mitunter dem schmiedbaren Eisen (Flußeisen) absichtlich zugesetzt werden, um eine Steigerung der Härte hervorzubringen, sind Wolfram, Chrom und Nickel.

Anwendung von diesen Einflüssen macht man bei Darstellung des Manganstahls, Wolframstahls, Chromstahls, Nickelstahls.

Manganstahl mit einem Mangangehalte bis 12 v. H. hat vereinzelte Verwendung für Herstellung gegossener Räder zu Grubenwagen, Pferdebahnwagen und einiger anderer gegossener

---

1) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 293.

Gegenstände gefunden, welche starker Abnutzung ohne sehr heftige Erschütterungen unterworfen sind; auch im geschmiedeten Zustande für Brückenbolzen, Wagenachsen u. dergl. m. Beispiele der Zusammensetzung von Manganstahl sind auf Seite 332 I unter 11 und 12 gegeben. Der Gehalt an sonstigen Fremdkörpern außer Mangan und Kohlenstoff muß tunlichst niedrig sein, wenn der Stahl brauchbar sein soll.

Sogenannter „Hartstahl“, welcher für Steinbrecher, Kugelmühlen, Kollergänge, Herzstücke und ähnliche einem starken Verschleiß unterworfene Gegenstände in Anwendung gekommen ist, besteht aus einem hochprozentigen Manganstahl, welchem nachträglich eine Härtung erteilt wurde.

Wolframstahl wird vornehmlich für Werkzeuge benutzt, welche zur Bearbeitung harter Gegenstände (z. B. des Hartgusses) bestimmt sind. Sein Wolframgehalt schwankt zwischen 2 bis 9 v. H. und geht in einzelnen, allerdings seltenen Fällen noch hierüber hinaus. Seine Härte ist sehr bedeutend. Die wolframreicheren Sorten ritzen im naturharten Zustande Glas; eine künstliche Härtung (durch Ablöschen in Wasser oder Öl) wird bei ihnen überhaupt nicht angewendet, da sie hierbei zerspringen würden. War die Eisenwolframlegierung, welche bei der Herstellung des Stahls als Zusatz diente, durch Schmelzen von Wolframit hergestellt, so kann er 1 bis 2 v. H. Mangan enthalten; angeblich wird seine Sprödigkeit hierdurch abgemindert und seine Schmiedbarkeit erhöht. Einige Beispiele der Zusammensetzung solcher für Werkzeuge benutzten Wolframstähle sind folgende:

	Kohlenstoff	Silicium	Wolfram	Mangan
Bochumer Wolframstahl, von mir untersucht	1,48	0,19	1,94	0,44
Steirischer Wolframstahl, von mir untersucht	1,20	0,21	6,45	0,35
Englischer Wolframstahl, von mir untersucht	1,70	0,82	8,25	1,26
Desgl. Wolframstahl, von Gintl untersucht	0,88	0,76	8,74	2,48
Desgl. Wolframstahl, von Heeren untersucht	0,42	0,76	8,81	2,57

Der Phosphorgehalt ist in den vorstehend genannten Proben nicht bestimmt; in gutem Wolframstahl beträgt er nicht mehr als etwa 0,015 v. H.

Schnelldrehstahl wird ein in neuerer Zeit mit großem Vorteil verwendeter Werkzeugstahl genannt, welcher neben einem hohen, bis 20 v. H. Wolframgehalt einen mäßigen Chromgehalt, etwa 3 v. H. besitzt. In allen Fällen ist der Mangangehalt niedrig.

Über Rapid- und Schnelldrehstahl siehe Literatur.

Chromstahl, dessen Chromgehalt jedoch selten mehr als

2,5 v. H., häufig weniger als 1. v. H. beträgt[1]), wird, obschon seltener als Wolframstahl, zur Anfertigung von Werkzeugen benutzt, ferner von Blechen, welche einen hohen Härtegrad besitzen sollen (z. B. für diebessichere Geldschränke, Panzerplatten), und für gegossene Geschosse zum Durchbohren von harten Panzern[2]). Für verschiedene andere Verwendungen ist er versuchsweise herangezogen worden (z. B. für Federn, Eisenbahnradreifen); jedoch scheint er sich hierfür wenig bewährt zu haben. Wie Hadfield fand, ist die durch Chrom allein erreichbare Härtesteigerung nicht bedeutend; sie wird aber beträchtlich, wenn Kohlenstoff und Chrom nebeneinander zugegen sind, so daß auf diese Weise sich ein härteres Metall als durch Erhöhung des Kohlenstoffgehalts allein erzielen läßt[3]).

Beispiele der Zusammensetzung[4]).

	Kohlenstoff	Chrom	Mangan	Silicium
Stahl von Unieux nach Brustlein .	0,60	2,20	n. best.	n. best.
Stahl von Brooklyn nach Thurston .	0,63	1,04	0,05	0,15
Stahl ebendaher, nach Thurston . .	0,44	0,92	0,03	0,12
Stahl ebendaher, nach Howe (der Stahl enthielt auch 0,72 v. H. Wolfram) .	0,29	1,32	0,15	0,15

Nickelstahl hat seit 1885 zur Anfertigung von Schiffspanzern Verwendung gefunden; außerdem auch für Maschinenteile verschiedener Art, wobei jedoch die durch einen Nickelgehalt bewirkte Steigerung der Festigkeit in der Regel von größerer Bedeutung ist als die Steigerung der Härte. Ganz besonders ist dem Nickelstahl (die Materialvorschriften der deutschen Kriegsmarine vom Jahre 1905 unterscheiden einen niedrigprozentigen Nickelstahl mit 1—3 v. H. Nickelgehalt, und einen mittelprozentigen Nickelstahl mit 5—6 v. H. Nickelgehalt) eine erhöhte Zähigkeit gegen wiederholte Beanspruchung eigen. Der sogenannten „Ermüdungsprobe" in den Qualitäts- und Prüfungsvorschriften des Britischen Lloyd, nach welchen ein Stab von 30 mm Durchmesser auf 200 mm Abstand unterstützt, abwechselnd um 180° gedreht, mindestens 21 Schläge eines 200 kgm Fallgewichts aushalten soll, dessen aufschlagende Kante mit 15 mm Radius abgerundet ist, dürfte nicht leicht ein anderes Material genügen. Wie das Chrom steigert Nickel die Härte besonders dann in starkem Maße, wenn daneben ein nicht zu geringer Kohlenstoffgehalt zugegen ist; außerdem fügt man neben dem Nickel bisweilen Chrom zu (0,3—2,0 v. H.),

[1]) Die Leichtoxydierbarkeit des Chroms erschwert die Herstellung brauchbarer Chromstahle mit höherem Chromgehalt. Nach Brustlein (Revue de métallurgie 1905 II, 511) bleibt das entstehende Cr_2O_3 in dem flüssigen Bade eingemengt, ohne an die Oberfläche emporzusteigen und gibt so die Veranlassung zur Entstehung von Fehlstellen.

[2]) Vergl. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 643.

[3]) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 21. Vergl. auch Seite 371 I der Eisenhüttenkunde.

[4]) Zahlreiche fernere Beispiele enthält Howe, Metallurgy of Steel, Band 1, Seite 76.

um den Härtegrad noch mehr zu erhöhen, als es durch den Nickelgehalt allein möglich sein würde.

Beispiele der Zusammensetzung von Nickelstahl-Panzerplatten sind folgende:

	Kohlenstoff	Nickel	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel	Chrom
Nickelstahl zu Panzerplatten [1]. .	0,90	2,39	1,05	0,06	0,02	0,01	—
Wie vorstehend.	0,88	2,50	1,10	0,08	0,02	0,02	—
Wie vorstehend.	0,26	2,67	0,79	0,05	0,07	0,01	—
Panzerplattenstahl, in Bismarckhütte untersucht [2])	0,47	1,75	0,26	0,09	n. best.	n. best.	1,70

Bisweilen hat man den Nickelgehalt auf 6—8 v. H., in dicken Platten nach Werth[3]) sogar bis auf 14 v. H. erhöht, während der Kohlenstoffgehalt solchen nickelreichen Stahls nicht über 0,4 v. H. zu betragen pflegt. Der Phosphorgehalt muß tunlichst niedrig sein; der Mangangehalt schwankt in der Regel von 0,3—0,6 v. H.[4]).

Das Härten und Anlassen.

Diejenige Härte, welche das gegossene oder das in Rotglut bearbeitete und dann an der Luft abgekühlte schmiedbare Eisen besitzt, also seinen gewöhnlichen Härtegrad, nennt man seine Naturhärte. Eine Steigerung des Härtegrades kohlenstoffhaltigen Eisens läßt sich erzielen, wenn es über den unteren kritischen Punkt (Seite 334 I) hinaus erhitzt und dann durch Eintauchen in Wasser rasch abgekühlt wird. Nach Brinell ist eine Erhitzung auf 750° C. vor dem Ablöschen zur Erreichung eines vollständigen Erfolges erforderlich; ein Stahl mit 0,7 v. H. Kohlenstoff erhielt bei Erhitzung auf 750° C. fast den dreifachen Härtegrad als bei Erhitzung auf 700° C.[5]). Die Härtungsfähigkeit, d. h. das Verhältnis des durch das Ablöschen erreichbaren Härtegrades zu der Naturhärte, nimmt mit dem Kohlenstoffgehalt des Eisens (Stahls) zu, bis dieser etwa 0,5 v. H. beträgt, und verringert sich nach Brinell wieder, wenn der Kohlenstoffgehalt über 0,8 v. H. steigt. Proben mit 0,1 v. H. Kohlenstoff erfuhren durch das Ablöschen eine Härtesteigerung auf das 1,5fache Maß der Naturhärte, mit 0,45 bis 0,8 v. H. Kohlenstoff auf das 2,8fache Maß, mit 0,9—1,2 v. H. Kohlenstoff auf das 2,4fache Maß[6]). Daß die deutlichere Härtbarkeit des schmiedbaren Eisens mit 0,5 v. H. und mehr Kohlenstoff

---

[1]) Aus dem Journal of the Franklin Institute 1892, Seite 427 in den Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1893, Seite 79.

[2]) „Stahl und Eisen" 1901, Seite 171.

[3]) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 978.

[4]) Über Darstellung, Eigenschaften und Verwendung von Nickelstahl, vergl. auch „Stahl und Eisen" 1895, Seite 718.

[5]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 273.

[6]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 267.

eins der wichtigsten Unterscheidungsmerkmale des Stahls im engeren Sinne vom Schmiedeeisen bilde, wurde auf Seite 6 I hervorgehoben.

Die Härte, welche der Stahl beim Härten annimmt, nennt man Härtungshärte oder auch Glashärte. Der Ausdruck Glashärte ist insofern nicht gut gewählt, weil das Maß dieser Härte bei verschiedenen Stahlsorten verschieden und von der chemischen Zusammensetzung des Stahls, insbesondere seinem Kohlenstoffgehalte, abhängt. Der von Natur härtere Stahl besitzt auch nach dem Härten einen größeren Härtegrad. Wenn nach Brinells erwähnten Versuchen die Härtezunahme der kohlenstoffreichsten Stahlsorten auch nicht ganz in dem gleichen Verhältnisse stattfindet wie die der etwas kohlenstoffärmeren, so besitzen erstere doch auch nach dem Härten den bedeutenderen Härtegrad, weil eben ihre Naturhärte größer war[1]). Die Ursache des Härtens wurde auf Seite 330 I erläutert. Ein Gehalt des Stahls an Mangan, Chrom, Wolfram erhöht seine Härtungsfähigkeit, vorausgesetzt, daß der Mangangehalt das im Flußeisen übliche Maß nicht übersteigt[2]).

Jene Härtung durch Ablöschen kann jedoch nur dann eintreten, wenn der Stahl auf die erwähnte Härtungstemperatur erhitzt worden ist, ehe die Abkühlung stattfindet. Eine Erhitzung auf eine niedrigere Temperatur erzeugt nicht etwa eine schwächere Härtung, sondern bleibt überhaupt wirkungslos; eine stärkere Erhitzung als auf jene Härtungstemperatur ist nutzlos und kann sogar eine Verschlechterung der Stahlbeschaffenheit zur Folge haben. Geschieht das Härten durch Eintauchen des glühenden Stahls in Wasser, so vermag eine übermäßige Erhitzung auch den Erfolg des Härtens zu beeinträchtigen, indem die überschüssige, von dem Stahle aufgenommene Wärme zunächst, ehe Härtung eintritt, an das Wasser abgegeben und zu dessen Erwärmung verbraucht wird; ist alsdann der Stahl auf die Härtungstemperatur abgekühlt, so geht seine fernere Abkühlung durch das wärmere Wasser weniger rasch vor sich, und die Härtung fällt schwächer aus.

Im Betriebe erkennt man den Zeitpunkt der Erhitzung, bei welchem die Härtung des Stahls vorgenommen werden muß, an dem Grade des Erglühens; mäßig dunkle Rotglut zeigt bei härterem, Kirschrotglut bei weicherem Stahle die geeignete Temperatur an. Die Beurteilung des Erglühens muß hierbei durch Betrachtung an einem schattigen Orte, nicht im hellen Tageslichte, geschehen.

Durch das Härten und die damit verknüpfte ungleichmäßige Abkühlung der äußeren und inneren Teile wird Spannung in dem gehärteten Gegenstande erzeugt, welche bei unmittelbarer Benutzung nach dem Härten leicht ein Zerspringen zur Folge haben würde. Man beseitigt diese Spannung durch vorsichtiges Erwärmen nach

---

[1]) Nach Versuchen Osmonds erweist sich dagegen gehärteter Stahl mit mehr als 1,80 v. H. Kohlenstoff beim Ritzen mit einer Reißnadel als weniger hart wie solcher mit 0,7—1,3 v. H. Kohlenstoff (Comptes rendus, Band 121, Seite 684).

[2]) Brinells Versuche über den Einfluß des Mangans: The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 255, auch „Stahl und Eisen" 1901, Seite 467. Über Mukais Versuche mit manganreichem Stahl vergl. Seite 366 I dieses Buches.

dem Härten, Anlassen des Stahls genannt, welches jedoch auch eine Abminderung des beim Ablöschen erzeugten Härtegrades mit sich bringt. Das Maß, um welches bei der Erwärmung die künstlich erzeugte Härte sich verringert, ist von dem Grade der Erwärmung unmittelbar abhängig; eine stärkere Erwärmung ruft stärkere Abminderung der Härte hervor, d. h. der Stahl wird weicher und umgekehrt. Aber auch die Zeitdauer der Erwärmung ist hierbei von Einfluß. Soll daher eine Abminderung der Härte nur bis zu einem bestimmten Grade bewirkt werden, so ist ein Ablöschen des Stahls in Wasser in dem Augenblicke erforderlich, wo jener Zeitpunkt erreicht ist; andernfalls würde der Stahl, auch ohne daß die künstliche Erwärmung fortgesetzt wird, durch die bereits aufgenommene Wärme eine fernere Einbuße an seiner Härte erleiden.

Bei dem Anlassen wird eine entsprechende Menge der vorhandenen Härtungskohle in Karbidkohle umgewandelt (vergl. die Beispiele 9 a, b und c auf Seite 332 I). Eine abermalige Härtung bei dem Abkühlen des angelassenen Stahls in Wasser kann nicht eintreten, da die Anlaßtemperatur in jedem Falle weit unter der Härtungstemperatur liegt.

Schon eine verhältnismäßig unbedeutende Erwärmung des gehärteten Stahls ruft, wenn sie lange fortgesetzt oder öfters wiederholt wird, eine deutliche Abminderung der Härte hervor. Eine gute Hausfrau weiß sehr wohl, auch wenn sie die Ursache nicht kennt, daß Tischmesser, wenn sie öfters in heißem statt in lauwarmem Wasser gewaschen werden, leicht sich abstumpfen, d. h. an Härte verlieren.

Den beim Anlassen entstandenen Härtegrad nennt man die Anlaßhärte. Sie nähert sich um so mehr der Naturhärte, je stärker die Erwärmung beim Anlassen war, und je weniger rasch man dem Stahl nach dem Erwärmen abkühlte. Wie weit beim Anlassen die Härteabnahme fortgeschritten ist, erkennt man an den Anlauffarben, welche an einer blank geschabten Stelle des Stahlstückes bei der Erwärmung erscheinen. Sie werden durch ein Oxydhäutchen hervorgerufen, welches immer stärker wird und seine Farbe mehr und mehr ändert, je weiter die Erhitzung fortschreitet. Obgleich die Töne dieser Anlauffarben und die Temperaturgrade, bei welchen sie erscheinen, bei verschiedenen Stahlsorten nicht immer genau übereinstimmen, vollzieht sich doch das Erscheinen und Verschwinden der Farben im großen und ganzen stets in der nämlichen Reihenfolge. Zuerst, bei einer Temperatur von etwas über 200 ° C., erscheint hellgelbe Farbe; bei 240 ° C. wird sie dunkler, um bei etwa 250 ° C. einen bräunlichen Ton anzunehmen und bei 265 ° C. in Braunrot überzugehen. Bei 275 ° C. erscheint purpurrote Farbe; bei 285 ° C. bekommt sie einen Stich ins Blaue (violett); bei 295 ° C. ist sie kornblumenblau, wird bei 315 ° C. hellblau oder graublau und bei 330 ° C. grau. Sobald die einer bestimmten Verwendung des gehärteten Gegenstandes entsprechende Anlauffarbe sichtbar wird, muß das erneute Ablöschen folgen, damit nicht eine stärkere Abminderung der Härte eintritt, als beabsichtigt war.

Wie das Maß der Glashärte ist auch dasjenige der Anlaßhärte

von der Naturhärte abhängig, d. h. der von Natur härtere Stahl besitzt nach dem Härten und Anlassen bei gleichen Anlauffarben auch einen höheren Härtegrad als der von Natur weichere. Ein von Natur härterer Stahl bedarf also eines stärkeren Anlassens nach dem Härten als ein von Natur weniger harter, um einen gleichen Härtegrad als dieser zu erhalten; je stärker aber ein Stahl angelassen wird, desto mehr vermindert sich die dem gehärteten Stahle innewohnende Spannung und Sprödigkeit, desto weniger ist er zum Zerspringen bei der Benutzung geneigt. Von diesem Gesichtspunkte aus könnte es zweckmäßig erscheinen, für alle Verwendungen tunlichst harten Stahl zu benutzen und ihn um so stärker anzulassen, je weniger groß sein Härtegrad bei der betreffenden Verwendung zu sein braucht. Harter Stahl ist aber schon von Natur spröder als weniger harter, erfordert bei der Herstellung und Verarbeitung, insbesondere auch beim Härten und Anlassen, größere Sorgfalt als dieser und ist daher kostspieliger und schwieriger zu behandeln. Man wählt deshalb den Stahl der betreffenden Verwendung gemäß und berücksichtigt beim Anlassen sowohl die beabsichtigte Verwendung als die Naturhärte des Stahls. Beispielsweise pflegt man für Rasiermesser und sehr harte Werkzeuge Stahl mit 1,2—1,4 v. H. Kohle zu benutzen und die fertigen Gegenstände bis etwa zur braunroten Farbe anzulassen; für härtere Dreh- und Hobelstähle dient Stahl mit 1—1,2 v. H. Kohle, welcher bis zur dunkelgelben bis purpurroten Farbe angelassen wird, je nachdem die zu bearbeitenden Körper härter oder weniger hart sind; Feilen, harte Steinbohrer, Fräser werden aus Stahl mit etwa 0,9—1 v. H. Kohlenstoff gefertigt und und bis zur roten Farbe angelassen[1]; für Prägstempel benutzt man Stahl mit 0,7—0,8 v. H. Kohle, den man nur bis zur gelben Farbe anläßt; für Tischmesser, gewöhnliche Hämmer kommt Stahl mit 0,6—0,7 v. H. Kohlenstoff zur Verwendung, der bis zur blauen Farbe angelassen wird.

Ist der Stahl an und für sich sehr hart und die stattfindende Abkühlung beim Härten bedeutend, so kann die ungleiche Zusammenziehung der äußeren und inneren Teile des Stahls die Entstehung von Rissen oder gar ein Zerspringen des Stahlstückes veranlassen. Die Gefahr wächst, wenn ein Gegenstand mit sehr verschiedenen Querschnitten gehärtet wird. Statt des kalten Wassers zum Ablöschen wendet man in solchen Fällen erwärmtes oder auch Flüssigkeiten an, welcher die Wärme weniger gut als Wasser leiten (z. B. Öl, Seifenwasser, Kalkmilch). Nach Brinells mehrfach erwähnten Versuchen härtet Seifenlösung nur ²/₃ so stark wie gewöhnliches Wasser von derselben Temperatur. Selbst geschmolzenes Blei wird bisweilen benutzt, und das Anlassen wird in diesem Falle entbehrlich, da die Schmelztemperatur des Bleies schon bei 330° C. liegt. Weniger harter Stahl dagegen, welcher der Gefahr des Zerspringens in geringerem Maße unterworfen ist, läßt sich stärker härten, wenn er in gut wärmeleitenden Flüssigkeiten (z. B. in schwefelsäurehaltigem Wasser) abgelöscht wird.

---

[1]) Bei Feilen wird nur die Angel blau angelassen, die eigentliche Feile bleibt glashart.

Mancherlei sonstige Kunstgriffe[1]), deren Anwendung zum Teil durch die Form der zu härtenden Gegenstände bedingt ist, sind erforderlich, um einen guten Erfolg beim Härten zu erzielen. Wollte man z. B. den zu härtenden Gegenstand ruhig in Wasser tauchen, so würde ringsherum sich eine Dampfschicht bilden, welche die Berührung mit dem Wasser verhinderte und dadurch die Abkühlung verzögerte. Man bewegt also den Gegenstand im Wasser hin und her, um ihn in stets erneuerte Berührung damit zu bringen; oder man benutzt fließendes Wasser für die Härtung; oder man richtet, wenn sehr große Gegenstände, z. B. Panzerplatten, gehärtet werden sollen, einen starken oder zahlreiche feine Strahlen der Härtungsflüssigkeit gegen deren Oberfläche. Soll die Härtung nur auf einen Teil eines Gegenstandes, z. B. auf die Schneide eines Dreh- oder Hobelstahls, sich erstrecken, der übrige Teil ungehärtet bleiben, so würde Spannung entstehen und der Gegenstand bei der späteren Beanspruchung leicht abbrechen, wenn man ihn eben nur bis zu der Grenze zwischen dem zu härtenden und nicht zu härtenden Teile in die Härtungsflüssigkeit eintauchen wollte. Man bewegt ihn also in der Flüssigkeit auf- und abwärts, um eine Übergangszone zu bilden. Näheres über alle solche beim Härten zu befolgenden Regeln findet der Leser in den unter Literatur genannten Schriften Reisers und Thallners.

Durch das Härten des Stahls wird sein spezifisches Gewicht verringert. Der durch die Erhitzung ausgedehnte Körper kann sich bei der plötzlichen Abkühlung nicht so rasch zusammenziehen, als er seine Wärme verliert, die Teilchen verharren in der Anordnung, welche sie im erhitzten Zustande besaßen; die Abmessungen bleiben größer als vor dem Härten. Ein gehärteter Stempel geht nicht mehr in eine Öffnung, in welche er vorher genau hineinpaßte, ein gehärteter Draht nicht mehr durch ein Ziehloch, durch welches er vor dem Härten hindurchgezogen worden war. Es verdient jedoch Beachtung, daß diese Vergrößerung zwar bei den Querschnittsabmessungen, aber nicht immer bei der Längenabmessung eines stabförmigen Gegenstandes wahrnehmbar ist; letztere wird sogar in der Regel, wie Caron nachwies, beim Härten verkürzt. Nach Thallner pflegt Stahl mit mehr als 0,9 v. H. Kohlenstoff sich beim Härten zu verkürzen, mit weniger Kohlenstoff sich zu verlängern; doch spricht auch die sonstige Zusammensetzung und die Form des Stahlstückes hierbei mit[2]).

Das Maß jener Verringerung des spezifischen Gewichtes oder der Vergrößerung der Querschnittsabmessungen beim Härten ist im allgemeinen um so bedeutender, je kohlenstoffreicher der Stahl ist und je stärker er vor dem Härten erhitzt wurde. Metcalf, und Langley, welche verschieden harte Stahlsorten teils stärker teils weniger stark erhitzten und dann härteten, fanden dabei folgende Änderungen der spezifischen Gewichte[3]):

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1907, Seite 763.

[2]) „Stahl und Eisen" 1899, Seite 319.

[3]) Zeitschr. des berg- und hüttenmännischen Vereins für Stiermarke und Kärnten 1880, Seite 109 (aus The American Manufacturer).

	Kohlenstoffgehalt 0,529	0,649	0,841	0,871	1,005	1,079
	Spezifische Gewichte					
Ungehärtet	7,844	7,824	7,829	7,825	7,826	7,825
In Dunkelrotglut gehärtet	7,831	7,806	7,812	7,790	7,812	7,811
In Rotglut gehärtet	7,826	7,849	7,808	7,773	7,789	7,798
In Hellrotglut gehärtet	7,823	7,830	7,780	7,758	7,755	7,769
In Gelbglut gehärtet	7,814	7,811	7,784	7,755	7,749	7,741
In nahezu Weißglut gehärtet . . .	7,818	7,791	7,789	7,752	7,744	7,690

Ein Mangangehalt des Stahls im Betrage von 0,8—1,0 v. H. wirkt nach Thallner der Änderung des spezifischen Gewichtes entgegen [1]).

Beim Anlassen des gehärteten Stahls nimmt sein spezifisches Gewicht wieder zu, und beim Erscheinen der grauen Anlauffarbe hat es annähernd das ursprüngliche Maß, welches es vor dem Härten besaß, erreicht.

Einfluſs der mechanischen Bearbeitung.

Durch Bearbeitung des Eisens in gewöhnlicher Temperatur auf Grund seiner Geschmeidigkeit (Hämmern, Pressen, Walzen, Ziehen) wird die Härte gesteigert, um so mehr, je stärker die dabei stattfindende Formveränderung ist. Brinell beobachtete, daß hierbei kohlenstoffärmeres, also von Natur weicheres Eisen eine raschere Härtezunahme erfahre als kohlenstoffreicheres. Als man den Querschnitt zweier gleichen Stäbe, deren einer 0,25 v. H. Kohlenstoff und deren anderer 1,20 v. H. Kohlenstoff enthielt, durch Ziehen um 10. v. H. verringert hatte, war bei dem ersten eine Härtesteigerung um 25,5 v. H., bei dem zweiten nur um 11,9 v. H. des ursprünglichen Härtegrades zu beobachten [2]).

Durch Ausglühen wird auch diese künstlich erzeugte Härte auf ihr früheres Maß zurückgeführt.

7. Die Festigkeitseigenschaften.

a) Allgemeines.

Unter den verschiedenen Arten der Festigkeit kommt beim schmiedbaren Eisen hauptsächlich die Zugfestigkeit in Betracht. In folgendem ist daher auch vorzugsweise auf diese Bezug genommen.

Bei Verwendung des Eisens zu baulichen Zwecken müssen jedoch auch andere, der Festigkeit nahe stehende Eigenschaften berücksichtigt werden.

---

1) Thallner, Werkzeugstahl, Seite 67, Fußanmerkung.

2) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 281; auch „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 465.

Hierher gehört die Zähigkeit, welche als das Maß des Widerstandes bezeichnet werden kann, welchen der Körper nach dem Überschreiten der Elastizitätsgrenze dem Bruche entgegensetzt. Wie die Festigkeit kann die Zähigkeit verschieden sein, je nachdem der Körper auf Zerreißen, Zerdrücken, Biegen oder sonstwie in Anspruch genommen wird. Bei Ermittelung der Zugfestigkeit schätzt man die Zähigkeit entweder nach Maßgabe der stattgehabten Längenausdehnung des geprüften Stabes vor dem Bruche oder auch nach der Verringerung des Stabquerschnittes an der Bruchstelle. Je zäher ein Körper ist, um so weniger plötzlich kann der Bruch stattfinden, und desto ungefährlicher bleiben vorübergehende mechanische Einwirkungen (Erschütterungen, Stöße). Um diese Tatsache zu verstehen, braucht man nur zu erwägen, daß ein zäher Körper bei einer die Elastizitätsgrenze überschreitenden Beanspruchung eine Formveränderung erleidet und dabei einen Teil der für die Ausübung des Stoßes oder der Erschütterung aufgewendeten Arbeit verbraucht. Je größer dieser für die Formveränderung entfallende Anteil der Stoßwirkung ist, desto geringer ist die Gefahr für den Bruch.

Im übrigen ist für die Widerstandsfähigkeit eines Körpers gegen Schlagwirkungen (Stöße, Erschütterungen) auch seine Elastizität von Bedeutung, d. h. seine Fähigkeit, vorübergehende Formveränderungen (durch Beanspruchungen unterhalb der Elastizitätsgrenze) zu ertragen, da auch hierfür Arbeit verbraucht wird. Daher ist in manchen Fällen auch die Ermittelung der elastischen Eigenschaften (der Elastizitäts- und Proportionalitätsgrenze, des Elastizitätsmoduls, der Streckgrenze) nicht ohne Wichtigkeit. Immerhin lehrt die Erfahrung, daß zur Erlangung eines zuverlässigen Urteils über die Widerstandsfähigkeit des Eisens gegen Erschütterungen die Ermittelung der vorübergehenden oder bleibenden Formveränderungen allein nicht ausreicht, sondern daß wirkliche Stoß- oder Schlagversuche dafür erforderlich sind.

Körper, welche geringe Widerstandsfähigkeit gegen Stoßwirkungen besitzen, nennt man spröde. Sie können bei ruhiger Belastung eine recht bedeutende Festigkeit besitzen.

Die Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens sind abhängig von der chemischen Zusammensetzung, dem Herstellungsverfahren, der vorausgegangenen Bearbeitung und anderen, unten genannten Umständen. Die Werte dieser Eigenschaften liegen deshalb bei verschiedenen Eisensorten häufig weit auseinander; so beträgt beispielsweise die Zugfestigkeit einiger zwar geringwertiger, aber immerhin für untergeordnete Zwecke noch brauchbarer Eisensorten nicht mehr als 25 kg auf 1 qmm und steigt bei anderen auf mehr als 200 kg.

Im allgemeinen besitzen die Eisensorten von großer Festigkeit eine nur geringe Zähigkeit, und umgekehrt kann ein sehr zähes Eisen keine sehr erhebliche Festigkeit besitzen. Je größer das Maß beider Eigenschaften nebeneinander ist, desto vorzüglicher ist das Eisen. In Rücksicht hierauf ist man mehrfach bemüht gewesen, durch geeignete Vereinigung der Ziffernwerte beider Eigenschaften zu

einer einzigen Ziffer, der Güteziffer, einen Maßstab für die Güte des betreffenden Eisens zu erhalten. Wöhler schlug vor, die Zugfestigkeit des Eisens in Kilogrammen auf 1 qmm und die eintretende Querschnittsverringerung an der Bruchstelle, ausgedrückt in Hundertteilen des ursprünglichen Querschnitts, zusammenzuzählen und diese Summe als Güteziffer zu benutzen. Besitzt z. B. ein Eisen eine Zugfestigkeit von 57 kg auf 1 qmm und eine Querschnittsverringerung von 40 v. H., so wäre die Güteziffer $57 + 40 = 97$; ein anderes Eisen möge eine Festigkeit von 43 kg und eine Querschnittsverringerung von 45 v. H. besitzen, so wäre seine Güteziffer $43 + 45 = 88$ usf. Da es aber für eine bestimmte Verwendung des Eisens nicht gleichgültig ist, ob es bei gleicher Güteziffer eine hohe Festigkeit und geringe Zähigkeit oder hohe Zähigkeit und geringe Festigkeit besitzt, soll bei Benutzung einer solchen Güteziffer für jede der beiden Eigenschaften ein zulässiges geringstes Maß vorgeschrieben werden, wobei jedoch die Güteziffer höher sein soll, als die Summe jener beiden niedrigsten zulässigen Ziffern zusammen. Zahlreiche Eisenbahnverwaltungen haben seit 1878 bis vor nicht langer Zeit in ihren Lieferungsbedingungen eine solche Güteziffer nach Wöhlers Verfahren vorgeschrieben [1]). Mit Recht hat man jedoch dem Verfahren den Vorwurf gemacht, daß es einesteils widersinnig sei, zwei ganz verschiedene Begriffe — Belastung und Querschnittsverringerung — zusammenzuzählen, und daß anderenteils die meßbare Querschnittsverringerung überhaupt keinen zuverlässigen Maßstab für die Widerstandsfähigkeit des Eisens gegen Erschütterungen abgeben kann [2]).

Auch ein von Tetmajer vorgeschlagenes Verfahren, die stattfindende Längenausdehnung mal der zum Bruche erforderlichen Belastung als Güteziffer zu verwenden [3]), hat sich nicht als wesentlich zuverlässiger erwiesen.

b) Schweißeisen und Flußeisen.

Ihrer abweichenden Entstehung und dadurch bedingten inneren Anordnung gemäß, zeigen die beiden Hauptgattungen des schmiedbaren Eisens Unterschiede in ihrem Verhalten bei der Beanspruchung auf Festigkeit.

Schweißeisen besteht aus einzelnen, selbständig entstandenen und durch Schweißung verbundenen Eisenkörnern, zwischen denen Schlacke eingeschlossen ist; meistens ist es erforderlich, mehrere, zum Zwecke des Auspressens der Schlacke zuvor auf dünne Querschnitte ausgestreckte Stücke erst wiederum durch Schweißung zu vereinigen. Jede Schweißfuge aber bedingt eine Verminderung der Festigkeit oder legt wenigstens die Gefahr einer solchen Festigkeitsverminderung nahe. Flußeisen besteht aus ungeschweißten

---

[1]) Näheres hierüber: Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 10, Seite 68.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 7 und 113; Zivilingenieur 1884, Seite 93.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1881, Seite 100 und 190; 1882, Seite 365.

Stücken und ist schlackenfrei. Daher ist Flußeisen im allgemeinen das vorzüglichere Metall, sofern seine chemische Zusammensetzung dem Zwecke entspricht und es nicht Fehlstellen enthält, welche sein Verhalten schädigen und durch Gasentwicklung beim Gießen, Schwindung des erstarrenden Metalls oder Seigerungsvorgänge hervorgerufen sein können [1]). Bei gleicher Festigkeit besitzt das Flußeisen größere Zähigkeit als Schweißeisen und bei gleicher Zähigkeit größere Festigkeit.

Am deutlichsten spiegelt sich dieser Unterschied in den Ansprüchen, welche die Eisenhüttenleute selbst an das Verhalten des von ihnen erzeugten Schweiß- oder Flußeisens stellen. Nach den Vereinbarungen des Vereins deutscher Eisenhüttenleute [2]) soll Bauwerksschweißeisen eine Zugfestigkeit von mindestens 34 kg auf 1 qmm bei 12 v. H. Längenausdehnung, Bauwerksflußeisen eine Zugfestigkeit von mindestens 37 kg bei 20 v. H. Längenausdehnung aufweisen; Mantelbleche zu Dampfkesseln aus Schweißeisen sollen mindestens 30 kg Festigkeit bei 5 v. H. Längenausdehnung, aus Flußeisen dagegen 36—42 kg Festigkeit bei 22 v. H. Längenausdehnung besitzen. Gleich große Unterschiede zeigen sich bei allen übrigen Verwendungen.

Wenn trotzdem und trotz der in der Regel niedrigeren Erzeugungskosten des Flußeisens auf der Erde noch etwa ein Viertel soviel Schweißeisen als Flußeisen erzeugt und verbraucht wird, so liefern verschiedene Umstände die Erklärung dafür. Schweißeisen ist durchschnittlich leichter schmied- und leichter schweißbar als Flußeisen und wird weniger leicht als dieses durch Überhitzung verdorben. Es ist aus diesem Grunde dem Schmiede ein bequemer zu verarbeitendes Metall. Aber auch bei der späteren Bearbeitung und Benutzung ist Flußeisen empfindlicher als Schweißeisen gegen alle Einflüsse, welche eine Schädigung seines Verhaltens verursachen können. Durch Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur (deren Einwirkung auf die Festigkeitseigenschaften unten ausführlichere Besprechung findet) wird es leichter als dieses spröde; Ungleichmäßigkeiten bei der Erhitzung eines kalten oder bei der Abkühlung eines glühenden Flußeisenstückes (z. B. einer größeren Blechtafel) können innere Spannungen hervorrufen, welche ein plötzliches Zerspringen, wie bei einem vollständig spröden Metalle, zur Folge haben, während gleiche Gegenstände aus Schweißeisen sich als minder empfindlich gegen jene Einflüsse erweisen. Die Nichtbeachtung dieser Unterschiede hat besonders früher häufige Mißerfolge hervorgerufen und ein Mißtrauen gegen die Benutzung des Flußeisens erweckt, welches erst völlig schwinden wird, wenn auch jeder Arbeiter die Erkenntnis erlangt hat, daß das Flußeisen abweichende und zugleich umsichtigere Behandlung erheischt als Schweißeisen.

[1]) Näheres hierüber unter Eigentümlichkeiten des Flußeisens.

[2]) Vorschriften für Lieferungen von Eisen und Stahl, aufgestellt vom Verein deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1901.

c) Einfluſs der chemischen Zusammensetzung.

Allgemeines.

Das reinste Eisen besitzt durchnittlich die größte Zähigkeit, aber eine nur mäßige Festigkeit. Durch die Anwesenheit fremder Körper wird in allen Fällen die Zähigkeit verringert; die Festigkeit wird durch die Aufnahme fremder Körper, sofern deren Menge ein gewisses Maß nicht überschreitet, gesteigert, fällt aber wieder, und zwar meistens rasch, sobald jenes Maß überschritten wird. Bei der Aufnahme von Metalloiden wird die Grenze durchschnittlich früher als bei der Aufnahme von anderen Metallen erreicht; ihre genaue Erkennung wird durch den Umstand erschwert, daß gewöhnlich mehrere Fremdkörper nebeneinander auftreten, welche in abweichendem Maße das Verhalten des Eisens beeinflussen.

Die hierunter als Beispiele des Einflusses der chemischen Zusammensetzung auf die Festigkeitseigenschaften gegebenen Ziffern beziehen sich auf solche Probestücke, welche in Rotglut geschmiedet oder gewalzt und an der Luft abgekühlt worden waren.

Einfluß des Kohlenstoffgehalts.

Man pflegt anzunehmen, daß Eisen, welches keine großen Mengen von Fremdkörpern neben dem Kohlenstoff enthält, seine höchste Festigkeit bei etwa 1 v. H. Kohlenstoff oder wenig mehr erreicht; jedenfalls verringert sich die Zähigkeit rasch, wenn der Kohlenstoffgehalt zunimmt, und ist bei 1 v. H. Kohlenstoff gering.

Öfters hat man versucht, eine Ziffer zu finden, mit deren Hilfe man imstande sei, die einer bestimmten Anreicherung des Kohlenstoffgehalts entsprechende Festigkeitszunahme zu berechnen. Nach Webster[1]) soll man als Zugfestigkeit des reinen Eisens $24,_{48}$ kg auf 1 qmm annehmen und für je $0,_{1}$ v. H. Kohlenstoff $5,_{6}$ kg hinzurechnen, doch beziehen sich seine Ermittelungen nur auf Eisensorten mit nicht mehr als $0,_{19}$ v. H. Kohlenstoff; v. Jüptner rechnet für je $0,_{1}$ v. H. Kohlenstoff $6,_{6}$ kg der Festigkeit des kohlenstoffärmeren Eisens hinzu, wobei die Festigkeit des kohlenstofffreien Eisens auf jedem Werke durch besondere Versuche ermittelt werden soll[2]). Die genaue Bestimmung der Festigkeit durch Rechnung wird jedoch durch den Umstand unmöglich gemacht, daß der Einfluß sowohl des Kohlenstoffgehalts als anderer, unten erwähnter Fremdkörper auf die Festigkeit und auf sonstige Eigenschaften nicht immer ganz gleich ist, sondern auch von der Beschaffenheit und Zahl der übrigen anwesenden Begleiter abhängt (Seite 291 I).

Eine Zusammenstellung von Ergebnissen bei Festigkeitsversuchen mit Eisensorten von verschiedenem Kohlenstoffgehalte ist auf folgender Seite gegeben.

Nimmt man an, daß die bei den drei Versuchsreihen beobachtete Festigkeitssteigerung allein durch die Zunahme des Kohlenstoff-

---

1) „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 61.
2) „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 939.

gehalts veranlaßt worden und der Gehalt an den übrigen Körpern unverändert geblieben sei, so würde sich für eine Anreicherung von je 0,1 v. H. Kohlenstoff eine Festigkeitssteigerung im Mittel ergeben:

bei den Eisenproben von Terrenoire . . . . 5,8 kg,
bei den Eisenproben von Reschitza (unter Vernachlässigung der letzten Probe mit 1,15 v. H. Kohlenstoff) . . . . . 4,8 kg,
bei den Eisenproben von Söderfors . . . . 6,0 kg,

also bei den Proben von Terrenoire und Söderfors annähernde Übereinstimmung mit Websters Angabe.

Beispiele für den Einfluſs des Kohlenstoffgehalts.

	Zusammensetzung					Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung beim Bruche
	Kohlenstoff	Mangan	Phosphor	Silicium	Schwefel	kg	kg	%
								auf 200 mm urspr. Länge
Martineisen von Terrenoire in gewalzten Stäben von 20 mm Durchmesser [1])	0,15	0,21	0,04	Spur	Spur	18,2	36,4	32,3
	0,49	0,20	0,07	„	„	23,0	48,0	24,8
	0,71	0,26	0,06	„	„	30,8	68,2	10,0
	0,88	0,25	0,06	„	„	32,5	73,2	8,4
	1,05	0,25	0,06	„	„	39,5	86,0	5,2
								auf 250 mm urspr. Länge
Martineisen v. Reschitza in gewalzten Flachstäben v. 22 mm Dicke und 90 mm Breite [2])	0,12	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	20,10	40,17	31,0
	0,28	„	„	„	„	23,58	49,58	28,6
	0,50	„	„	„	„	23,58	54,44	93,8
	0,75	„	„	„	„	25,70	69,79	17,3
	1,00	„	„	„	„	28,06	77,85	2,7
	1,15	„	„	„	„	36,06	60,85	—
								auf 200 mm urspr. Länge
Martineisen von Söderfors in Schweden [3])	0,10	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.	39,47	25,5
	0,20	„	„	„	„	„	47,75	25,8
	0,30	„	„	„	„	„	49,66	21,7
	0,40	„	„	„	„	„	56,84	18,9
	0,50	„	„	„	„	„	65,39	16,2
	0,60	„	„	„	„	„	68,80	15,4
	0,80	„	„	„	„	„	80,30	12,0
	0,90	„	„	„	„	„	87,58	9,7

[1]) A. von Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878, Seite 89 und 91.
[2]) Ebenda, Seite 160.
[3]) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 803.

Einfluß des Siliciumgehalts.

Fast immer ist der Siliciumgehalt des schmiedbaren Eisens niedriger als 0,7 v. H., und sein Einfluß ist in diesen Fällen nicht erheblich, sofern das Eisen arm an Kohlenstoff und Mangan ist. Durch Hadfield wurden unter anderen folgende zusammengestellten Festigkeitsziffern ermittelt [1]):

	Zusammensetzung					Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 50 mm ursprüngl. Länge %
	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor			
Gewalzte Rundstäbe von 28½ mm Durchmesser	0,14	0,19	0,14	0,08	0,05	34,54	51,81	30,07
	0,18	0,77	0,21	n. best.	n. best.	39,25	53,38	29,50
	0,19	1,57	0,28	"	"	43,96	58,87	31,10
	0,20	2,14	0,25	0,06	0,04	48,67	62,01	18,48
	0,20	2,68	0,25	n. best.	n. best.	50,24	66,72	17,60
	0,21	3,40	0,29	"	"	54,94	74,57	11,10
	0,25	4,30	0,26	"	"	70,65	76,93	0,00
	0,26	5,08	0,29	0,06	0,04	nicht erkennbar	75,26	0,30

Die höchste Festigkeit liegt hier bei einem Siliciumgehalte von 4,3 v. H.; die bis dahin mit der Zunahme des Siliciumgehalts um je 0,1 v. H. stattgehabte Festigkeitssteigerung beträgt 0,6 kg, also nur etwa ein Zehntel von der durch Kohlenstoff erzeugten, sofern man die Änderungen außer Betracht läßt, welche durch die Zunahme des Kohlenstoff- und Mangangehalts veranlaßt worden sind, und das Verhältnis wird noch geringer, wenn man auch diese Änderungen berücksichtigt. Die Elastizitätsgrenze des Eisens mit 4,3 v. H. Silicium liegt ganz nahe an der Bruchgrenze, es ist sehr spröde. Ein Vergleich der Ziffern mit den oben über den Einfluß des Kohlenstoffgehalts gegebenen läßt schließen, daß bei gleicher Festigkeit das kohlenstoffhaltige Eisen ein höheres Maß von Zähigkeit besitze als das siliciumhaltige. Man sieht einen erheblichen Siliciumgehalt in Eisensorten, welche ein hohes Maß von Zähigkeit besitzen sollen, nicht gern.

Einfluß des Mangangehalts.

Gewöhnliches Flußeisen pflegt bis 1 v. H. Mangan, Schweißeisen, zumal wenn es kohlenstoffarm ist, höchstens 0,2 v. H. Mangan zu enthalten. Auch dieser Mangangehalt steigert die Festigkeit unter Abminderung der Zähigkeit, aber in schwächerem Maße als Kohlenstoff.

---

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1889 II, Seite 222; daraus in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1004.

Beispiele für den Einfluſs des Mangangehalts.

	Zusammensetzung				Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung %
	Mangan	Kohlenstoff	Phosphor	Silicium			
Martinflußeisen von Terrenoire in Stäben von 20 mm Durchmesser [1])	0,52	0,45	0,06	Spur	26,8	51,8	24,5
	1,06	0,46	0,07	„	31,2	61,1	21,4
	1,30	0,51	0,06	„	41,2	76,5	17,4
	2,01	0,56	0,06	„	47,2	88,5	10,5

Nimmt man den Versuchen Websters gemäß an, daß die Zunahme des Kohlenstoffgehalts in dieser Versuchsreihe eine Erhöhung der Festigkeit um 5,6 kg für je 0,1 v. H. Kohlenstoff veranlaßt habe und bringt den hierfür entfallenden Wert von der gefundenen Festigkeitssteigerung in Abzug, so entspricht jeder Zunahme des Mangangehalts um je 0,1 v. H. eine Zunahme der Festigkeit von 2,4 kg; bei Versuchen mit zwei Proben, welche übereinstimmend nur etwa 0,07 v. H. Kohlenstoff enthielten, fand Rudeloff[2])

Mangangehalt %	Zugfestigkeit kg	Längenausdehnung %
0,05	32,2	38,1
0,23	36,9	29,3

also die Steigerung der Festigkeit durch 0,1 v. H. Mangan 2,6 kg.

Für Annäherungswerte darf man demnach als mittlere Ziffer 2,5 kg als die Festigkeitssteigerung ansehen, welche ein Mangangehalt von 0,1 v. H. bewirkt, sofern der Gesamtgehalt von Mangan nicht sehr erheblich ist. Nach Webster erniedrigt sich jedoch diese Ziffer rasch, wenn der Mangangehalt steigt. Hinsichtlich der von ihm für verschiedene Mangangehalte angegebenen Werte möge auf seine in Fußanmerkung 1 auf Seite 36 III genannte Abhandlung verwiesen werden.

Einfluß des Nickelgehalts.

Seitdem man angefangen hat, dem Flußeisen für gewisse Zwecke metallisches Nickel in kleineren oder größeren Mengen zuzusetzen (Seite 368 I), hat eine Erforschung der Einflüsse, welche die Festigkeitseigenschaften des Eisens dadurch erfahren, erhöhte Bedeutung gewonnen. Die umfänglichsten, bis jetzt noch nicht vollständig abgeschlossenen Untersuchungen wurden durch den Verein zur Beförderung des Gewerbfleißes veranlaßt, und

[1]) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris, Seite 92. Die Längenausdehnung ist auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen.

[2]) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1896 Bericht des Sonderausschusses für Eisenlegierungen, Tabelle 7a.

die erlangten Prüfungsergebnisse sind in den Verhandlungen des genannten Vereins Jahrgang 1898, Seite 327—348, veröffentlicht. Zu der Prüfung dienten Stäbe, welche außer Eisen und Nickel nur etwa 0,07 v. H. Kohlenstoff und sehr kleine Mengen sonstiger Fremdkörper enthielten und nach der Bearbeitung einem gleichmäßigen Ausglühen unterworfen wurden. Die Mittelwerte der sämtlichen Ergebnisse, welche mit geschmiedeten Stangen (Knüppeln), gewalzten Rundstangen und gewalzten Flachstangen erlangt wurden, sind hier zusammengestellt[1]).

Nickelgehalt %	Proportionalitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 100 mm ursprüngl. Länge %	Querschnittsabnahme %
Null	15,9	33,6	36,3	72,6
1,0	25,6	35,0	32,5	69,9
2,0	25,6	38,1	31,4	67,3
3,0	21,5	41,1	28,5	63,9
4,0	22,4	43,8	28,5	69,0
5,0	27,1	48,2	29,3	56,1
8,0	33,0	55,1	20,9	61,3
16,0	12,8	129,1	8,2	25,7
60,0	12,1	53,2	23,7	41,0

Die Ziffern lassen mit Zunahme des Nickelgehalts bis 16 v. H. eine ziemlich rasche Steigerung der Festigkeit bei allmählicher Abnahme der durch die Formveränderungen gemessenen Zähigkeit erkennen. Während aber die durch je 0,1 v. H. Nickel hervorgerufene Festigkeitssteigerung zwischen dem Nickelgehalte von Null bis 1 v. H. nur 0,14 kg beträgt, erhöht sie sich bei den Nickelgehalten zwischen 5—8 v. H. auf 0,22 kg und bei den Nickelgehalten zwischen 8—16 v. H. sogar auf 0,92 kg.

	Zusammensetzung						Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 50 mm ursprüngl. Länge	Querschnittsverringerung
	Nickel	Kohlenstoff	Silicium	Schwefel	Phosphor	Mangan	kg	kg	%	%
Gewalzte Stäbe	0,27	0,19	0,31	0,10	0,09	0,79	29,8	49,5	35,6	55,9
	1,92	0,14	0,22	0,08	0,07	0,72	40,8	54,2	33,8	55,5
	5,81	0,18	0,31	n. best.	n. best.	0,65	44,7	64,4	30,8	54,2
	9,51	0,16	0,20	„	„	0,86	70,0	134,2	9,3	18,1
	15,48	0,23	0,24	0,11	0,05	0,93	81,6	147,6	3,2	2,5
	19,64	0,19	0,27	n. best.	n. best.	0,93	74,8	142,8	6,9	6,4
	29,07	0,14	0,38	„	„	0,86	39,2	60,4	32,9	44,0

[1]) Bei den gewalzten Flachstangen war die Längenausdehnung auf 90 mm ursprüngliche Länge bezogen, und die angegebenen Mittelwerte sind deshalb nicht genau zuverlässig. Dem hier vorliegenden Zwecke, einen allgemeineren

Daß die Festigkeit der Nickeleisenlegierungen wieder sinkt, wenn der Nickelgehalt über 16 v. H. steigt, wurde auch von anderen Forschern, z. B. von Hadfield beobachtet[1]), aus dessen Mitteilungen die obigen Ziffern entnommen sind.

Einfluß des Chromgehalts.

Eine zuverlässige Beurteilung dieses Einflusses ist bis jetzt nicht möglich gewesen, weil die sonstige Zusammensetzung der für den Vergleich benutzten Versuchsstücke, insbesondere ihr Kohlenstoffgehalt, stets erheblich abwich. Mitunter ist die Behauptung ausgesprochen worden, daß man durch einen Chromzusatz zum schmiedbaren Eisen (Flußeisen) dessen Festigkeit beträchtlich erhöhen könne, ohne in dem Maße, wie durch Anreicherung des Kohlenstoffgehalts, die Sprödigkeit zu steigern; der Beweis hierfür aber fehlt. Daß Chromstahl mit 1—6 v. H. Chrom eine etwas größere Festigkeit besitzen kann, als er ohne den Chromgehalt besitzen würde, ist unbestreitbar; aber er ist mindestens ebenso spröde als reiner Kohlenstoffstahl von der gleichen Festigkeit.

Beispiele.

	Zusammensetzung				Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Chrom	Silicium	Mangan	kg	kg	%
Hadfields Chromstahl in Stäben von 20 mm Durchmesser[2]) . .	0,16	0,29	0,07	0,18	33,0	43,9	41,9
	0,12	0,84	0,08	0,18	34,5	49,5	40,0
	0,21	1,51	0,14	0,12	37,7	59,6	37,1
	0,41	3,17	0,18	0,28	47,1	100,5	21,6
	0,86	6,89	0,31	0,29	62,8	113,8	13,5
	0,71	9,18	0,36	0,25	47,1	95,8	17,6
Chromstahl aus Brooklyn; Abmessungen der Probestäbe nicht angegeben[2])	1,01	0,35	Spur	Spur	54,8	84,2	13,7
Chromstahl aus Döhlen; Abmessungen nicht angegeben[3]) .	0,94	0,51	0,12	0,00	n. best.	86,9	15,7

Berücksichtigt man bei Hadfields Versuchsergebnissen den Einfluß des zunehmenden Kohlenstoffgehalts nach Maßgabe von

---

Überblick über die Einflüsse des Nickelgehalts zu ermöglichen, dürften sie trotzdem entsprechen.

[1]) R. A. Hadfield, Alloys of iron and nickel. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Band 138, Teil 4.

[2]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 20. Die Längenausdehnung ist auf 50 mm ursprüngliche Länge bezogen; ein Vergleich der Ziffern für die Längenausdehnung mit den Ziffern der Proben von anderen Werken ist daher nicht zulässig.

[3]) Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 115.

Websters Verhältniszahl (Seite 36 III), so ergibt sich, daß die Wirkung einer Anreicherung des Chromgehalts um so unbedeutender wird, je höher dieser bereits war. Während in den an Chrom ärmeren Versuchsstücken eine Zunahme des Chromgehalts um 0,1 v. H. die Festigkeit um etwa 1 kg steigert, beträgt diese Festigkeitssteigerung in den reichsten Stücken nur noch 0,8 kg. Eine noch geringere Verhältniszahl (etwa 0,2 kg für 0,1 v. H. Chrom) ergibt sich, wenn man die Festigkeitsziffern der beiden Chromstahlproben aus Brooklyn und Döhlen mit den in der Tabelle auf Seite 37 III enthaltenen Festigkeitsziffern der Proben aus Terrenoire und Reschitza mit annähernd demselben Kohlenstoffgehalte vergleicht.

Einfluß des Wolframgehalts.

Alle bisher untersuchten Proben wolframhaltigen schmiedbaren Eisens waren zugleich kohlenstoffreich; sie waren Wolframstahl und zeigen übereinstimmend ziemlich hohe Festigkeit, aber auch bedeutende Sprödigkeit.

Beispiele [1]).

	Zusammensetzung				Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Wolfram	Kohlenstoff	Mangan	Silicium	kg	kg	%
Wolframstahl aus Bochum. . . .	1,94	1,43	0,44	0,19	n.best.	96,53	3,0
Wolframstahl unbekannten Ursprunges	2,58	1,36	0,25	0,42	„	92,70	2,0
Wolframstahl aus Steiermark . .	6,45	1,20	0,34	0,21	55,1	133,9	0,7

Da in diesen Proben der Kohlenstoffgehalt bereits jene Grenze überschritten hat, bei welcher nach Seite 36 III die höchste Festigkeit erreicht wird, läßt sich auch nicht annähernd ermitteln, in welchem Verhältnisse der Wolframgehalt allein eine Festigkeitssteigerung veranlaßte.

Einfluß des Aluminiumgehalts.

Um das vom kohlenstoffarmen Flußeisen beim Schmelzen aufgenommene Eisenoxydul zu zerstören, wendet man häufig einen Zusatz von Aluminium an. Ein vollständiger Erfolg ist jedoch kaum ohne einen Überschuß des Zusatzes erreichbar; es ist deshalb wichtig, die Einflüsse zu kennen, welche durch einen im Eisen zurückbleibenden Aluminiumgehalt ausgeübt werden. Die umfassendsten Versuche hierüber sind durch Hadfield [2]) aus-

[1]) Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1879, Seite 119. Die Abmessungen der geprüften Stäbe sind nicht angegeben.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1890 II, Seite 161.

geführt worden, und den von ihm erlangten Ergebnissen sind nachstehende Beispiele entnommen.

	Zusammensetzung						Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 50 mm %
	Kohlenstoff	Aluminium	Silicium	Schwefel	Phosphor	Mangan			
Geschmiedete und auf 20 mm Stärke abgedrehte Stäbe	0,22	0,15	0,09	n. best.	n. best.	0,07	32,9	45,5	36,7
	0,15	0,28	0,18	0,10	0,04	0,18	36,1	47,1	37,8
	0,20	0,61	0,12	n. best.	n. best.	0,11	33,7	43,9	38,4
	0,26	1,16	0,15	0,08	0,04	0,11	36,1	51,8	32,0
	0,21	1,60	0,18	n. best.	n. best.	0,18	31,4	48,6	32,7
	0,24	2,24	0,18	„	„	0,22	33,7	51,0	20,6
	0,22	5,60	0,20	0,08	0,03	0,12	n. best.	59,6	3,6

Der Einfluß des Aluminiumgehalts auf die Festigkeitseigenschaften ist demnach nicht erheblich; vergleicht man die Festigkeitsziffern der Proben mit 0,15 und 5,60 v. H. Aluminium und berücksichtigt die durch den höhern Mangan- und Siliciumgehalt der letztern Probe veranlaßte Zunahme der Festigkeit, so ergibt sich als mittlere, durch je 0,1 v. H. Aluminium hervorgerufene Erhöhung der Festigkeit etwa 0,2 kg auf 1 qmm. Eine deutliche Abminderung der durch die Längenausdehnung gemessenen Zähigkeit wird erkennbar, wenn der Aluminiumgehalt über 2 v. H. hinausgeht. Auch die beim Bruche eintretende Querschnittsverringerung ließ die gleiche Abnahme erkennen; sie betrug

bei einem Gehalte von 1,60 v. H. Aluminium 52,14 v. H.,
„ „ „ „ 2,24 „ „ „ 24,64 „ „
„ „ „ „ 5,60 „ „ „ 3,96 „ „

Einfluß des Phosphorgehalts.

Phosphor macht, wie auf Seite 355 I mitgeteilt wurde, das Eisen spröde, kaltbrüchig, und bei gleichem Phosphorgehalte wächst dessen Einfluß mit dem Gehalte des Eisens an Kohlenstoff. Stahl ist daher empfindlicher dagegen als weiches Schmiedeeisen und darf, um benutzbar zu sein, um so weniger Phosphor enthalten, je kohlenstoffreicher er ist. Auch die Festigkeit gegenüber ruhiger Belastung wird durch Phosphor, sobald dessen Gehalt eine ziemlich niedrige Grenze übersteigt, verringert. Man pflegt daher den Phosphor als einen der schädlichsten Bestandteile des schmiedbaren Eisens insbesondere dann zu betrachten, wenn dieses erschütternden Belastungen unterworfen werden soll.

Im allgemeinen läßt sich beobachten, daß Schweißeisen minder empfindlich gegen den Einfluß eines gleichen Phosphorgehalts ist als Flußeisen, also einen höheren Phosphorgehalt als dieses erträgt, ohne unbrauchbar zu werden. Auch im weichen Flußeisen ist ein Phosphorgehalt von 0,2 v. H. schon recht erheblich und für die

meisten Verwendungen unzulässig; Schweißeisen dagegen enthält mitunter 0,3, ja 0,4 v. H. Phosphor, und wenn dieser Gehalt auch deutliche Sprödigkeit erzeugt, so kann ein derartiges Schweißeisen für gewöhnlichere Verwendungen doch noch gut brauchbar sein.

Die Erklärung hierfür liefert zum Teile der Umstand, daß von dem im Schweißeisen bestimmten Gesamtphosphorgehalte ein Teil der eingeschlossenen Schlacke angehört, das Eisen selbst demnach in Wirklichkeit phosphorärmer ist, als die Untersuchung ergeben hatte. Jene eingeschlossene Schlacke aber ist, wenn man phosphorreiches Roheisen verarbeitete, ebenfalls phosphorreich[1], und bei schlackenreichem Eisen kann leicht ein Viertel bis ein Fünftel des gefundenen Gesamtphosphorgehalts der eingemengten Schlacke angehören und demnach ohne Einfluß auf das Verhalten des Eisens bleiben.

Wahrscheinlich ist es, wenn auch bislang nicht mit Sicherheit erwiesen, daß von dem im Flußeisen anwesenden Phosphorgehalte ein größerer Teil als im Schweißeisen gelöst, ein geringerer Teil als Phosphid Fe_3P (Seite 353 I) abgesondert sei, und daß der Phosphor in ersterer Gestalt das Verhalten stärker als in letzterer beeinflusse[2].

Endlich kommt hinzu, daß man überhaupt höhere Ansprüche an das Verhalten des Flußeisens als an das des Schweißeisens zu stellen berechtigt ist (Seite 35 III), und daß demnach der gleiche Phosphorgehalt in ersterem eine deutlichere Verschlechterung als in letzterem herbeiführt.

Festigkeitsversuche mit Eisenproben gleicher Herkunft und Zusammensetzung, aber verschiedenem Phosphorgehalte, in solcher Zahl, daß man aus ihren Ergebnissen ein deutliches Bild des Einflusses des Phosphors erlangen könnte, sind bislang nicht angestellt worden. Immerhin können die auf Seite 45, Tabelle I folgenden Beispiele, aus Versuchen mit Eisensorten verschiedener Herkunft zusammengestellt[3], allgemeinere Schlußfolgerungen ermöglichen.

Eine Abnahme der Festigkeit ist hier auch bei dem Gehalte von 0,25 v. H. Phosphor noch nicht erkennbar, denn die Festigkeit dieses Eisens steht derjenigen der phosphorärmsten Proben nicht nach[4], wohl aber zeigt sich an der geringern Längenausdehnung und geringern Querschnittsverringerung des phosphorreicheren Eisens die Abnahme der Zähigkeit. Noch deutlicher läßt sich bei den auf Seite 45, Tabelle II, von Arnold veröffentlichten Versuchsergebnissen dieser Einfluß wahrnehmen. Die Probestäbe waren Flußeisen, durch Tiegelschmelzen für die Versuchszwecke erzeugt und zu Stäben von 14 mm Stärke ausgewalzt[5]. Der Gehalt der Stäbe an Silicium, Schwefel und Mangan war unbedeutend.

---

[1]) Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen" 1890, Seite 513.

[2]) Untersuchungen von Jüptners: „Stahl und Eisen" 1897, Seite 524.

[3]) Nach A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris, Seite 177.

[4]) Ein gleiches Ergebnis erhielt v. Kerpely bei zahlreichen Versuchen mit ungarischen Eisensorten (Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 61).

[5]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, Seite 118.

I

	Zusammensetzung				Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 200 mm Länge	Querschnittsverringerung
	Phosphor	Kohlenstoff	Silicium	Schwefel	kg	kg	%	%
Schwedisches Frischfeuereisen in Stäben von 70 mm Breite, 9,5 mm Stärke, aus Blechen geschnitten. Prüfung in der Walzrichtung	0,015	0,06	0,04	0,02	13,4	34,0	20,5	27,40
Wie vorstehend	0,026	0,05	0,02	0,01	15,7	31,2	25,5	34,17
Schwedisches Puddeleisen, übrigens wie vorstehend	0,016	0,07	0,10	0,00	15,6	33,2	22,0	23,13
Yorkshire-Puddeleisen (bestes), übrigens wie vorstehend	0,09	0,07	0,06	n. best.	18,6	36,0	9,5	10,45
Wie vorstehend	0,12	0,15	0,21	„	17,7	38,9	9,5	12,49
Staffordshire-Puddeleisen, übrigens wie vorstehend	0,25	0,06	0,20	0,02	15,8	34,4	8,5	7,34

II

	Zusammensetzung		Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 50 mm Länge	Querschnittsverringerung
	Phosphor	Kohlenstoff	kg	kg	%	%
Erste Probe	0,015	0,040	22,59	34,18	47,0	76,5
Zweite Probe	1,360	0,070	45,60	45,60	0,0	0,0

Die Zugfestigkeit des phosphorreichen Eisens ist hier bei ruhiger Belastung noch erheblich höher als die des phosphorarmen, aber seine Elastizitätsgrenze fällt mit der Bruchfestigkeit zusammen, und es erträgt keine Formveränderung mehr, ohne Bruch zu erleiden. Es ist sehr spröde.

Einfluß des Kupfergehalts.

Der im Handelseisen auftretende höchste Kupfergehalt (etwa 0,4 v. H.) vermag die Festigkeit etwas zu steigern und die Zähigkeit zu schmälern, aber der Einfluß ist nicht erheblich genug, um bei der Verwendung des Eisens für gewöhnliche Zwecke von Belang zu sein.

Die umfänglichsten Untersuchungen über den Einfluß des Kupfers auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens wurden bislang durch Lipin ausgeführt[1]). Bei der Prüfung von gewalzten Stäben aus Flußeisen, dem man beim Schmelzen Kupfer in verschiedenen Mengen zugefügt hatte, erhielt er unter anderen folgende Ergebnisse (Mittelwerte aus je zwei Versuchen):

[1]) „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 536 und 583.

Zusammensetzung						Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 220 mm Länge	Querschnittsverringerung
Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel	Kupfer	kg	kg	%	%
0,10	0,07	0,14	0,02	0,03	0,00	n. best.	41,0	27,7	65,0
0,12	0,14	0,26	0,02	0,03	0,48	35,7	48,8	25,5	53,1
0,14	0,12	0,27	n. best.	n. best.	0,61	33,5	49,9	25,0	51,8
0,10	0,06	0,16	0,02	0,02	1,69	42,7	54,6	21,7	49,2
0,09	0,05	0,18	0,03	0,01	3,51	59,5	68,3	12,5	36,5

In ähnlicher Weise änderten sich die Eigenschaften mittelharten Stahls (Kohlenstoffgehalt 0,45 v. H.) mit Zunahme des Kupfergehalts.

Einfluß des Schwefelgehalts.

Über den Einfluß des Schwefelgehalts auf die Festigkeitseigenschaften des Schweißeisens stellte v. Kerpely einige Versuche an, indem er im Puddelofen einzelnen Luppen Schwefel zuführte [1]). Bei der Prüfung von Rundstäben mit 10 mm Durchmesser ergab sich

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung v. H.
bei einem Schwefelgehalte von 0,05 v. H.	41,4	21,5
„ „ „ „ 0,12 „ „	38,0	20,4
„ „ „ „ 0,49 „ „	36,6	11,6

Eine Verschlechterung der Beschaffenheit des Eisens ist unverkennbar; aber auch bei dem im gewöhnlichen schmiedbaren Eisen niemals vorkommenden Schwefelgehalte von 0,49 v. H. ist sie noch unbedeutend im Vergleiche zu der Schädigung, welche die Schmied- und Schweißbarkeit durch den Schwefelgehalt erleiden.

Einfluß des Arsengehalts.

Versuche über den Einfluß des Arsens auf Flußeisen wurden durch Harbord und Tucker ausgeführt, indem sie geschmolzenem Flußeisen (Thomaseisen) verschiedene Mengen Arsen zuführten [2]). Aus der Reihe der von ihnen erlangten Versuchsergebnisse mögen die auf Seite 47 folgenden Beispiele dienen.

Arnold fand bei Anreicherung des Arsengehalts eines Eisens mit nur 0,04 v. H. Kohlenstoff und sehr geringen Mengen sonstiger Fremdkörper von 0,00 auf 1,57 v. H. eine Zunahme der Zugfestigkeit von 34,2 kg auf 42,5 kg unter Verringerung der Längenaus-

---

[1]) A. v. Kerpely, Ungarns Eisensteine und Eisenhüttenerzeugnisse, Seite 60.

[2]) Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, in „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 578.

dehnung von 47,0 auf 28,5 v. H. und der Querschnittsverringerung von 76,5 auf 34,1 v. H. [1]).

Zusammensetzung					Zug-festigkeit auf 1 qmm	Längen-ausdehnung auf 203 mm Länge	Quer-schnittsver-ringerung
Kohlen-stoff	Mangan	Phos-phor	Schwefel	Arsen	kg	%	%
0,09	0,27	0,08	0,02	0,00	36,2	29	72,6
0,09	0,44	0,08	0,02	0,19	41,9	23	38,7
0,11	0,38	0,07	0,06	0,48	50,7	23	34,8
0,09	0,30	0,08	0,03	0,92	46,1	11	0,0

Da ein Arsengehalt von mehr als 0,1 v. H. nur selten vorkommt, besitzt der Einfluß des Arsens auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens nur beschränkte Bedeutung.

Einfluß des Zinngehalts.

Bei den auf Seite 375 I erwähnten, in Bismarckhütte angestellten Versuchen erhielt Thallner folgende Ergebnisse: Flußeisen mit 0,09 v. H. Kohlenstoff, 0,02 v. H. Phosphor, 0,37 v. H. Mangan, 0,16 v. H. Kupfer

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 100 mm ursprüngl. Länge %	Querschnittsverringerung %
ohne Zinngehalt	23,8	34,2	33,4	69,8
bei einem Zinngehalte von 0,10 v. H. . .	24,1	39,0	30,8	62,0
bei einem Zinngehalte von 0,25 v. H. . .	25,1	36,8	29,2	63,8
bei einem Zinngehalte von 0,68 v. H. . .	28,7	40,6	27,2	48,3

Kohlenstoffreicheres Flußeisen (Kohlenstoffgehalt 0,69 v. H.) mit einem Zinngehalte von 0,68 v. H. besaß eine Festigkeit von 73,9 kg, aber nur eine Längenausdehnung von 3,5 v. H. und brach ohne meßbare Querschnittabnahme. Der Einfluß des Zinngehalts äußert sich hiernach deutlicher durch Erhöhung der Sprödigkeit als durch Erhöhung der Festigkeit. Der Umstand ist nicht ohne Wichtigkeit bei der Verarbeitung von Weißblechabfällen, welche auch im entzinnten Zustande noch Zinn enthalten.

d) Einfluß der mechanischen Bearbeitung.

Jede mechanische Bearbeitung des schmiedbaren Eisens, welche eine Gefügeänderung bewirkt (Seite 4 III), veranlaßt zugleich eine

[1]) Wie Fußanmerkung 4 auf Seite 44 III.

Änderung der Festigkeitseigenschaften. Je feinkörniger das Gefüge bei der Bearbeitung wird, desto mehr nimmt die Festigkeit und mit dieser die Elastizitätsgrenze zu, während die Zähigkeit, gemessen durch die vor dem Bruche eintretende Formveränderung, in der Regel abnimmt. Wie für die Gefügeänderungen ist für die Änderungen der Festigkeitseigenschaften die während der Bearbeitung herrschende Temperatur von Einfluß; sie sind unerheblich, wenn diese über dem untern Haltepunkte (Seite 287 u. 334 I) liegt, und sie werden im allgemeinen um so deutlicher, in je niedrigerer Temperatur die Bearbeitung vorgenommen wird. Eine erhebliche Schmälerung der Zähigkeit wird bemerkbar, wenn die Bearbeitung in Blauhitze (Seite 9 III) oder einer etwas darunter liegenden Temperatur ausgeführt wurde.

Die durch einen Knick der Schaulinie *A* (Abb. 85 auf Seite 287 I) gekennzeichnete Streckgrenze wird undeutlicher und verschwindet schließlich ganz, wenn das Eisen längere Zeit in gewöhnlicher Temperatur bearbeitet wird.

Da eine Änderung der Kohlenstofformen hierbei nicht stattfindet, bleibt für die Erklärung des Vorganges nur die Annahme übrig, daß auch die mechanische Bearbeitung in Temperaturen, welche unterhalb des für die Umwandlung des Eisens maßgebenden Haltepunkts liegen, eine Umwandlung der Eisenform (des Weicheisens oder α-Eisens in Harteisen oder β-Eisen) veranlasse. Im übrigen läßt sich bei den meisten übrigen Metallen eine gleiche Beeinflussung der Festigkeitseigenschaften durch Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur wahrnehmen.

Die Beispiele für diese Wirkung bei Bearbeitung des Eisens sind zahlreich. Wedding fand beim Prüfen von Stäben aus weichem Flußeisen, welche ursprünglich 42 qmm stark waren und dann in verschiedenen Temperaturen ausgeschmiedet wurden, nachstehende Werte [1]:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 50 mm urspr. Länge %	Querschnittsverringerung %
Im Anlieferungszustande	44,5	21,9	57,8
Nach dem Ausschmieden in gewöhnl. Temperatur auf 28 qmm Querschnitt	74,2	2,3	32,1
Nach dem Ausschmieden in Blauhitze auf 28 qmm Querschnitt	53,5	5,9	54,1
Nach dem Ausschmieden in Rotglut auf 28 qmm Querschnitt	47,8	17,6	63,8

Sattmann prüfte Stäbe, welche aus Blechen von 9 mm Stärke geschnitten worden waren [2]). Die Bleche waren aus Flußeisen gewalzt, welches im Martinofen teils auf saurem (kieselsäurereichem),

[1]) Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1889, Seite 91.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 551.

teils auf basischem Herde hergestellt worden war. Der Kohlenstoffgehalt des auf saurem Herde entstandenen Eisens betrug 0,19, der des anderen 0,15 v. H. Folgende Ziffern lassen die eingetretenen Veränderungen erkennen.

	Auf saurem Herde erzeugt			Auf basischem Herde erzeugt		
	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 200 mm %	Querschnittsverringerung %	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 200 mm %	Querschnittsverringerung %
Probestäbe vor dem Schmieden . . .	41,1	24,5	59,0	36,0	28,5	65,0
Nach dem Ausschmieden von 10 mm auf 9 mm Dicke						
bei einer anfänglichen Temperatur von —19° C.	41,5	15,0	59,8	39,8	19,5	64,0
„ Zimmertemperatur (+ 10° C.)	49,8	7,0	55,7	44,6	7,5	64,6
„ etwa 40° C.	49,7	7,0	50,6	47,9	7,0	55,5
„ Erscheinen der gelben Anlauffarbe (etwa 200° C.) . . .	58,4	4,0	37,8	48,4	7,0	57,2
„ Blauhitze (etwa 320° C.) . .	59,2	4,0	47,2	48,4	7,0	56,7
„ Dunkelrotglut (etwa 600° C.)	43,5	12,0	56,0	42,9	10,0	56,0
„ Kirschrotglut (etwa 800° C.) .	42,4	16,0	56,2	40,4	21,5	64,7
„ Hellrotglut (etwa 1000° C.) .	42,5	22,5	64,5	38,0	22,0	67,6
„ Gelbglut (etwa 1100° C.) . .	41,4	22,5	62,5	36,7	21,0	67,3
„ Weißglut (etwa 1300° C.) . .	41,5	18,5	61,0	36,2	19,5	68,9

Bei Anstellung von Biegeproben mit Stäben, welche ebenso wie die vorstehend erwähnten gefertigt worden waren, brach der auf saurem Herde erzeugte und in Blauhitze geschmiedete Stab bei einer Biegung um 160°; der auf saurem Herde erzeugte und bei gelber Anlauffarbe geschmiedete Stab ließ sich zwar um 180° biegen, zeigte aber an der Biegungsstelle kleine Anrisse, und ebenso verhielten sich die auf basischem Herde erzeugten und in Blauhitze oder bei gelber Anlauffarbe geschmiedeten Proben. Alle übrigen Versuchsstäbe ertrugen ohne Anstand Biegungen um 180° [1]).

Man gewahrt hier deutlich die Einflüsse der Bearbeitung in verschiedenen Temperaturen. Eine bedeutende Steigerung der Festigkeit unter Abminderung der Dehnungsfähigkeit tritt ein, wenn die Bearbeitung in Temperaturen von 10° bis gegen 600° vorgenommen wird, und die stärksten Änderungen zeigen sich nach der Bearbeitung in gelber und blauer Anlauffarbe (200—320°). Geht die Temperatur aber über Dunkelrotglut hinaus, so werden die Änderungen unerheblicher, und die eintretende Querschnittsverringerung ist sogar beträchtlicher als vor dem Ausschmieden. Auffällig ist es, daß die Proben beim Schmieden in der niedrigsten

[1]) Vergleiche auch Kurzwernharts Versuche über den schädigenden Einfluß des Schmiedens in Blauhitze oder einer noch etwas tiefer liegenden Temperatur: „Stahl und Eisen" 1896, Seite 850.

Temperatur geringere Änderungen ihrer Eigenschaften aufweisen als die mit einer Anfangstemperatur von + 10° C. geschmiedeten; aber die Tatsache wurde durch mehrmalige Versuche bestätigt[1]).

Sehr deutlich zeigt sich auch die besprochene Änderung der Festigkeitseigenschaften bei dem in gewöhnlicher Temperatur stattfindenden Ziehen von Drähten. Ihre Festigkeit und Elastizitätsgrenze wächst, letztere noch rascher als erstere; sie werden spröder. Howard fand z. B., daß beim Ziehen eines Flußeisenstabes durch eine engere Öffnung, welches eine Verkleinerung seines Durchmessers von 51,6 auf 49 mm zur Folge gehabt hatte, nachstehende Änderungen seiner Festigkeitseigenschaften eingetreten waren[2]):

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung v. H.	Querschnittsverringerung v. H.
Vor dem Ziehen .	10,0	39,0	23,9	42,9
Nach dem Ziehen	43,0	51,0	2,7	33,5

Versuche, welche von Thurston über den Einfluß des Walzens sowohl in höherer als in gewöhnlicher Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften angestellt wurden[3]), ergaben unter anderen folgende Ziffern:

	Durchmesser d. geprüft. Stäbe mm	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung %	Querschnittsverringerung %	Schlagprobe[4]) mkg
Heiß gewalzt .	44,4	21,7	34,1	30,0	41,4	1920
Kalt „ .	„	44,9	46,9	6,0	29,4	527
Heiß gewalzt .	38,1	23,6	34,7	25,7	40,2	1572
Kalt „ .	„	40,0	48,0	7,6	28,8	668
Heiß gewalzt .	19,0	16,6	34,5	21,6	37,8	1169
Kalt „ .	„	40,0	46,0	9,0	29,7	801
Heiß gewalzt .	6,3	15,6	35,7	16,9	47,3	888
Kalt „ .	„	35,7	45,3	3,4	29,6	264

Die Zunahme der Sprödigkeit ist hierbei besonders deutlich erkennbar, wenn man die erforderliche Schlagarbeit zur Herbeiführung des Bruches vergleicht.

---

[1]) Es muß hier daran erinnert werden, daß die angegebenen Temperaturen die Anfangstemperaturen waren, die Versuchsstücke aber, zumal die kälteren, deren spezifische Wärme geringer ist, sich beim Schmieden erwärmten. Es ist nicht schwer, einen mäßig dicken Stab durch Schmieden unter einem Schnellhammer in kurzer Zeit bis zum Rotglühen zu erhitzen. Sattmann selbst vermutet, daß die Stäbe mit + 10° C. Anfangstemperatur allmählich bis auf die für die Zähigkeit gefährliche Temperatur von über 200° C. erwärmt wurden, die kälteren Stäbe dagegen diese Temperatur nicht erreichten.

[2]) Aus der Revue universelle des mines, Reihe 2, Band 18 (1885 II), Seite 338, in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 178.

[3]) Aus der Revue universelle des mines, Reihe 2, Band 18, Seite 338 in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 93.

[4]) Es ist hierunter die durch Schläge ausgeübte mechanische Arbeit verstanden, welche zur Herbeiführung des Bruches erforderlich war.

Mit der Elastizitätsgrenze wächst bei der Bearbeitung in Temperaturen unter Rotglut auch der Elastizitätsmodul, d. h. die erforderliche Kraft, um eine bestimmte vorübergehende Formveränderung hervorzubringen. Thurston fand bei seinen hier erwähnten Versuchen, daß der Elastizitätsmodul des kalt gewalzten Eisens durchschnittlich 4,3 mal so groß war als der des heiß gewalzten. Das Eisen ist demzufolge steifer, widerstandsfähiger gegen Formveränderungen. Nicht selten macht man hiervon Anwendung. Drähte aus weichem Eisen lassen sich zu Springfedern, Drahtstiften und ähnlichen Zwecken erst benutzen, nachdem ihre Elastizitätsgrenze und ihr Elastizitätsmodul durch Ziehen in gewöhnlicher Temperatur dem Zwecke entsprechend gesteigert worden sind; Triebwellen werden mitunter in kaltem Zustande gewalzt, um widerstandfähiger gegen Verdrehung zu werden[1]); auch für Kolben- und Ventilstangen hat man solches kalt gewalztes Eisen, welches auch den Vorteil besitzt, des Abdrehens nicht zu bedürfen, bisweilen benutzt.

Auch beim Lochen des Eisens vermittelst eines Stempels (Durchschlages) und Lochringes, welches als Vorarbeit für das spätere Nieten häufig ausgeführt wird, erleiden die Festigkeitseigenschaften Änderungen, welche Beachtung verdienen. Rings um das entstehende Loch herum wird das Metall zusammengedrückt; seine Festigkeit wird an dieser Stelle größer, aber mehr noch wächst seine Sprödigkeit. Barba arbeitete den Ring um das entstandene Loch herum aus und fand ihn bei der Prüfung vollständig spröde[2]). Bei der Beanspruchung eines solchen gelochten Eisengegenstandes auf Festigkeit ist daher das in größerem Abstande vom Loche befindliche Metall nachgiebiger als der Ring um das Loch; die Folge davon ist eine ungleichmäßige Verteilung der einwirkenden Kraft. Der spröde Ring hat, nachdem das übrige Metall sich gedehnt hat, eine übermäßige Kraftwirkung auszuhalten, und ein vom Loche ausgehender Bruch tritt ein. Vergleicht man daher die Festigkeitseigenschaften einer gelochten Platte mit denjenigen der ungelochten, so findet man, daß durch das Lochen nicht allein ihre Zähigkeit, gemessen durch die stattfindende Bruchdehnung, sondern auch ihre Festigkeit geringer geworden ist. Je fester und weniger zäh das Eisen von Natur ist, desto deutlicher ist diese Einwirkung erkennbar. Tetmajer fand, daß Schweißeisenbleche durchschnittlich 20 v. H. ihrer ursprünglichen Festigkeit einbüßten[3]); Considère ermittelte bei verschiedenen Eisensorten die auf folgender Seite angegebenen, durch das Lochen eintretenden Änderungen[4]).

Auch die Dicke der Platten und das Verhältnis des Lochdurchmessers zur Dicke ist von Einfluß auf den Festigkeitsverlust. Bei Considères Versuchen betrug der Festigkeitsverlust bei

---

[1]) Näheres hierüber in der schon genannten Abhandlung aus der Revue universelle des mines in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 91; auch F. Kupelwieser, Das Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Philadelphia, Seite 132.

[2]) Nach Barba, Étude sur l'emploi de l'acier dans les constructions in der Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1887, Seite 962.

[3]) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 176.

[4]) Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1887, Seite 963.

Platten von 1 mm Stärke 12 v. H., bei Platten von 8 mm Stärke aus ganz demselben Eisen dagegen 22 v. H.

	Zugfestigkeit auf 1 qmm v. d. Lochen kg	Festigkeitsverlust %
Vorzügliches Schweißeisen	37,4	19
Grobkörniges Schweißeisen	41,0	21
Sehr weiches Flußeisen mit 0,18 v. H. C, 0,27 v. H. Mn	47,0	20
Weiches Flußeisen mit 0,22 v. H. C, 0,24 v. H. Mn	52,5	22
Halbhartes Flußeisen mit 0,33 v. H. C, 0,38 v. H. Mn	60,0	25
Hartes Flußeisen (Flußstahl) mit 0,66 v. H. C, 0,60 v. H. Mn	81,7	34

Diese Wirkung des Lochens ist von Wichtigkeit. Dampfkessel, Träger und andere genietete Gegenstände würden, wenn man die Nietung ohne weiteres mit dem gelochten Eisen vornehmen wollte, geringere Festigkeit und größere Sprödigkeit besitzen als das ungelochte Metall. Entfernt man jedoch durch Bohren oder Aufreiben mit der Reibahle den rings um das Loch entstandenen Ring, so verschwindet mit der Ursache der Verschlechterung auch diese selbst. So z. B. fand Hill bei Versuchen mit Flußeisen, welches 0,3 v. H. Kohlenstoff enthielt, nachstehende Durchschnittsziffern[1]):

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Dehnung v. H.
Vor dem Lochen	58,80	18,80
Nach dem Lochen (Lochweite 19 mm)	42,72	5,10
Nach dem Lochen und Aufreiben auf 20 mm Lochweite	58,81	15,70

Es ist daher Regel, bei Herstellung genieteter Gegenstände, welche auf Festigkeit beansprucht werden, die Nietlöcher, falls sie vermittelst Durchstoßens hergestellt sind, zunächst durch Bearbeitung mit einem schneidenden Werkzeuge aufzuweiten, bevor die Nietung vorgenommen wird. Eine Erweiterung des Durchmessers um 2 mm (also die Entfernung eines Ringes von 1 mm Stärke) pflegt auch bei großen Löchern in starkem Eisen zur Erreichung des Zweckes ausreichend zu sein.

e) Einfluſs des Ablöschens (Härtens).

Wenn das Eisen über jenen kritischen Punkt hinaus, bei welchem das Weicheisen in Harteisen übergeht, erhitzt und alsdann durch Ablöschen in Wasser plötzlich abgekühlt wird, hinter-

[1]) „Stahl und Eisen" 1883, Seite 509 (aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers).

bleibt eine größere Menge des β-Eisens als bei allmählicher Abkühlung (Seite 288 I), die mikroskopische Untersuchung weist einen reicheren Gehalt an Martensit nach (Seite 340 I), und auch bei Betrachtung des Gefüges ohne Vergrößerung gewahrt man, daß dieses feinkörniger geworden ist (Seite 7 III). Die Festigkeit ist bedeutender, die Zähigkeit geringer als bei langsamer Abkühlung; der Knick der Schaulinie *A* in Abb. 85 auf Seite 287 I wird undeutlicher oder verschwindet ganz. Die Wirkung ist demnach der durch Bearbeitung in gewöhnlicher Temperatur erzielten ähnlich.

Charpys Versuche	Temperatur beim Ablöschen Grade C.	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 100 mm %	Querschnittsverringerung %
Tiegelstahl mit 0,41 v. H. Kohlenstoff, 0,01 v. H. Mangan	0	31,0	50,6	24,4	52,9
	650	31,0	57,1	23,0	49,6
	700	31,0	55,2	20,2	48,6
	725	31,0	77,0	13,0	47,6
	900	57,8	79,8	13,3	54,8
Tiegelstahl mit 0,81 v. H. Kohlenstoff, 0,04 v. H. Mangan, in Öl abgelöscht	0	26,7	71,7	10,1	14,1
	700	n. best.	129,0	8,0	36,5
	750	"	127,3	9,0	32,2
	800	"	122,0	9,2	33,1
	900	"	117,7	7,0	20,7
Manganstahl mit 0,44 v. H. Kohlenstoff, 1,37 v. H. Mangan	0	35,9	63,1	26,7	57,0
	650	34,5	61,7	24,4	55,0
	700	34,5	63,1	20,0	54,1
	800	n. best.	(166,2)	0,5	0,0
	900	"	90,2	n. best.	0,0
	1000	"	87,5	"	0,0
Nickelstahl mit 0,07 v. H. Kohlenstoff, 1,20 v. H. Nickel	0	27,1	40,7	34,5	71,3
	600	26,7	40,1	33,5	74,3
	700	37,5	54,6	20,2	70,6
	800	37,5	51,4	18,3	81,2
	900	37,5	51,4	(25,6)	81,2
	1000	38,5	55,6	13,8	74,3
Chromstahl mit 0,07 v. H. Kohlenstoff, 0,75 v. H. Chrom	0	20,5	33,1	39,7	78,9
	650	19,7	36,1	35,4	79,9
	700	n. best.	49,2	16,6	66,5
	750	33,4	52,4	14,8	63,9
	800	30,7	61,6	12,7	47,6
	900	n. best.	74,9	10,2	53,8
	1000	"	85,6	7,8	47,6
Wolframstahl mit 0,40 v. H. Kohlenstoff, 1,40 v. H. Wolfram	0	25,1	44,0	22,3	49,9
	600	22,0	46,8	20,6	44,4
	650	32,0	55,4	13,0	41,1
	700	64,4	82,7	10,8	51,0
	800	66,4	(74,6)	11,0	58,8
	900	70,8	89,5	11,0	51,7

Einige durch Arnold, Charpy und Howe bei der Prüfung von fast kohlenstofffreiem Eisen durch Erhitzen und Ablöschen erlangte Ergebnisse wurden bereits auf Seite 285 und 286 I mitgeteilt.

Åkermans Versuche.	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Verlängerung %	Verringerung des Querschnittes %
Schweißeisen von Surahammar mit 0,2 v. H. Kohlenstoff, gewalzt	n. best.	34,0	19,1	n. best.
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht	„	48,5	6,2	33,9
Schweißeisen von Lesjöfors mit 0,07 v. H. Kohlenstoff, gewalzt	„	32,9	21,2	70,2
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht	„	44,3	8,0	63,8
Flußeisen von Högbo mit 0,23 v. H. Kohlenstoff, gehämmert	„	50,2	6,0	62,4
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht	„	56,2	13,0	57,6
Flußstahl von Wikmanshyttan mit 0,69 v. H. Kohlenstoff, gewalzt	„	72,8	11,3	37,7
Derselbe, glühend in Öl abgelöscht	„	96,1	2,0	0,4
Flußstahl von Wikmanshyttan mit 1,22 v. H. Kohlenstoff, gewalzt	„	101,7	4,5	4,8
Derselbe, glühend in Öl abgelöscht	„	137,0	1,1	26,0
Flußeisen von Motala mit 0,2 v. H. Kohlenstoff, zu Blechen gewalzt	21,5	42,6	26,9	50,1
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht	24,3	63,5	15,7	33,3
Flußeisen von Terrenoire mit 0,15 v. H. Kohlenstoff, 0,21 v. H. Mangan, gewalzt	18,2	36,4	32,3	65,7
Dasselbe, glühend in Öl abgelöscht	31,4	46,8	23,7	66,1
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht	33,1	50,4	18,2	71,2
Flußeisen von Terrenoire mit 0,49 v. H. Kohlenstoff, 0,20 v. H. Mangan, gewalzt	23,0	48,0	24,3	40,3
Dasselbe, glühend in Öl abgelöscht	46,4	71,0	12,5	26,8
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht	49,3	78,2	7,0	35,6
Flußeisen von Terrenoire mit 1,05 v. H. Kohlenstoff, 0,25 v. H. Mangan, gewalzt	39,5	86,0	5,2	4,5
Dasselbe, glühend in Öl abgelöscht	92,6	130,8	1,0	2,0
Dasselbe, glühend in Wasser abgelöscht, zersprang in Stücke	—	—	—	—
Gegossenes, übrigens unbearbeitetes Flußeisen von Terrenoire mit 0,2 v. H. Kohlenstoff, 0,2 v. H. Silicium, 0,6 v. H. Mangan	23,4	49,0	26,3	n. best.
Dasselbe, geglüht und in Öl abgelöscht	33,1	59,1	16,8	„
Gegossenes unbearbeitetes Martineisen von Terrenoire mit 0,5 v. H. Kohlenstoff, 0,4 v. H. Silicium, 0,9 v. H. Mangan	35,2	76,5	9,3	„
Dasselbe, geglüht und in Öl abgelöscht	45,0	83,0	7,2	„

Ihnen mögen sich die in der Tabelle auf Seite 53 enthaltenen, von Charpy erlangten Ergebnisse bei der Prüfung anderer Eisensorten anschließen [1]).

---

[1]) Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, Juni 1895, Seite 692; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1895, Seite 750.

Läßt man die eingeklammerten Ziffern als nicht ganz zuverlässig außer Betracht, so zeigt sich durchweg eine Festigkeitssteigerung, sobald das Eisen in Temperaturen über 650° C. abgelöscht wurde, und zugleich eine Abnahme der Dehnungsfähigkeit. Weniger deutlich ist der Einfluß des Ablöschens auf die vor dem Bruche eintretende Querschnittsverringerung der Proben. Durch einen Gehalt an Kohlenstoff, Mangan, Chrom, Wolfram wird die Empfindlichkeit des Eisens gegen die Wirkung des Ablöschens erhöht; nicht so deutlich ist ein gleicher Einfluß des Nickels erkennbar.

Auch die Ziffern der Tabelle auf Seite 54, einer durch Åkerman veröffentlichten Arbeit entnommen[1]), führen den Einfluß des Ablöschens auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens deutlich vor Augen und liefern zugleich den Beweis, daß auch kohlenstoffarmes Schweißeisen jenen Einflüssen nicht minder zugänglich ist als Flußeisen.

Eine eigentümliche Abweichung von der Regel, nach welcher beim Ablöschen die Festigkeit zu- und die Zähigkeit abnimmt, zeigt jedoch das Verhalten des Manganstahls mit hohem Mangangehalte (9—18 v. H.). Seine Festigkeit wird durch Ablöschen zwar gesteigert, aber auch seine Zähigkeit wächst; er ist nach dem Ablöschen weniger spröde als bei gewöhnlicher Temperatur. Aus Hadfields über diese Eigenschaft des Manganstahls angestellten Versuchen[2]) mögen folgende als Beispiele dienen. Die geprüften Stäbe hatten 19 mm Durchmesser; die gemessene Längenausdehnung ist auf 200 mm ursprüngliche Länge bezogen.

	Zusammensetzung			Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	kg	%
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt . .	0,61	0,30	9,37	51,8	5,0
Aus Gelbhitze in Öl abgelöscht	"	"	"	59,6	15,0
Aus Gelbhitze in Wasser abgelöscht	"	"	"	61,2	15,0
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt . .	1,10	0,16	12,60	61,2	2,0
Aus Gelbhitze in Öl abgelöscht	"	"	"	78,5	28,0
Aus Gelbhitze in Wasser abgelöscht	"	"	"	84,8	27,0
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt . .	0,85	0,28	14,01	56,5	2,0
Aus Gelbhitze in Öl abgelöscht	"	"	"	86,3	27,0
Aus Gelbhitze in Wasser abgelöscht	"	"	"	105,1	44,0
Geschmiedet und gewöhnlich abgekühlt . .	1,60	0,36	19,10	81,6	1,0
Aus Gelbhitze in Wasser abgelöscht	"	"	"	92,6	4,0

[1]) R. Åkerman, On hardning iron and steel, its causes and effects. Reprinted from „The Journal of Iron and Steel Institute" 1879 II.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 II, Seite 70.

Über die Änderung der Härte dieses Stahls beim Ablöschen wurden auf Seite 365 I einige Angaben gemacht[1]).

f) Einfluß des Ausglühens.

Regeln.

Erhitzt man Eisen, dessen Gefüge und Festigkeitseigenschaften durch Bearbeitung im kalten Zustande oder durch Ablöschen im glühenden Zustande die unter d) und e) geschilderten Änderungen erfahren hatte, bis zur Rotglut und läßt es alsdann in gewöhnlicher Weise abkühlen, so erhält es annähernd die gleichen Eigenschaften wieder, welche es vor der erwähnten Behandlung besessen hatte; seine Festigkeit verringert sich, auch die Elastizitätsgrenze und der Elastizitätsmodul sinken, die Zähigkeit (Dehnbarkeit, Geschmeidigkeit) wächst. Das Maß dieser Änderungen ist von der Höhe der angewendeten Temperatur abhängig; auch die Zeitdauer des Glühens spielt dabei eine Rolle. Waren die Eigenschaften des Eisens durch mechanische Bearbeitung im kalten Zustande geändert, so bleibt eine Erhitzung auf eine niedrigere Temperatur als etwa 500° C. ohne bemerkbaren Einfluß[2]); war ein Ablöschen des Eisens die Ursache der Veränderungen gewesen, so beginnt bereits beim Erwärmen auf weniger hohe Temperaturen mit der Änderung des Gefüges (Seite 7 III), der Kohlenstofformen (Seite 328 I) und des Härtegrades (Seite 27 III) auch eine Änderung der Festigkeitseigenschaften Platz zu greifen, deren Maß mit der Temperatur und der Zeitdauer der Erhitzung zunimmt, und bei etwa 500° C. erhält das Eisen ebenfalls seine ursprünglichen Eigenschaften wieder.

Glüht man gegossenes, noch nicht bearbeitetes Flußeisen (Blöcke, Gußwaren), so ändern sich mit dem Gefüge (Seite 7 III) auch in deutlichem Maße die Festigkeitseigenschaften: sowohl die Festigkeit als die Zähigkeit werden erhöht, das Verhalten des Metalls wird also in doppelter Weise veredelt. Nach Versuchen Brinells ist diese Veredlung der Eigenschaften durch Ausglühen nicht allein beim gegossenen Metalle bemerkbar, sondern auch die Festigkeit und Zähigkeit heiß gewalzten Flußeisens werden dadurch erhöht[3]).

---

[1]) Seltsamerweise ergab sich bei Versuchen Brinells, daß auch manganarmer Stahl (Mangangehalt weniger als 0,5 v. H.) mit einem Kohlenstoffgehalte von 0,65—1,17 v. H. beim Ablöschen aus einer Temperatur von 750° C. größere Längenausdehnung und Querschnittsabnahme aufwies als im naturharten Zustande (The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 246), während beim Ablöschen aus einer höheren Temperatur (850° und 1000° C.) der Stahl um so mehr an Zähigkeit einbüßte, je höher sein Kohlenstoffgehalt war. Der Widerspruch findet nur eine Erklärung, wenn man annimmt, daß eben bei 750° C. die eigentliche Härtungstemperatur jenes Stahls noch nicht erreicht war. Kohlenstoffärmerer Stahl dagegen zeigte auch beim Ablöschen aus 750° C. eine Abnahme der Zähigkeit.

[2]) Versuche Rudeloffs: Mitteilungen der königlichen technischen Versuchsanstalten 1891, Seite 109. Nach Bauschinger sollen beim Flußeisen Temperaturen unter 450° C., beim Schweißeisen unter 400° C. ohne Einfluß bleiben (Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium in München, Heft 13, Seite 26).

[3]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 244.

Obschon, wie erwähnt, diese Einflüsse des Ausglühens mit steigender Temperatur deutlicher werden, ändern sie sich doch und können zu einer Benachteiligung des Verhaltens führen, sofern jene von der Zusammensetzung des Eisens abhängige Temperaturgrenze überschritten wird, bei welcher eine erneute Gefügeänderung eintritt (Seite 8 III). Bei Brinells erwähnten Versuchen war diese Temperaturgrenze auch für harten Stahl bei 1000° C. noch nicht erreicht.

Beispiele.

Ausglühen kalt bearbeiteten Eisens.

Wedding fand bei den auf Seite 48 III erwähnten Versuchen mit weichem Flußeisen:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längendehnung %	Querschnittsverringerung %
Im Anlieferungszustande	44,5	21,9	57,8
Nach der Anlieferung geglüht	44,3	22,3	55,6
Kalt geschmiedet	74,2	2,3	32,1
Nach dem Kaltschmieden geglüht	45,3	18,4	54,7

Sattmann erhielt bei seinen Versuchen (Seite 49 III) unter anderen folgende Werte:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längendehnung %	Querschnittsverringerung %
Vor dem Schmieden	41,1	24,5	59,0
Nach dem Schmieden	49,3	7,0	55,7
Nach dem Schmieden und Ausglühen	39,0	24,0	61,7

Beim Prüfen von kaltgewalzten Stäben (Seite 50 III) fand Thurston[1]):

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längendehnung %
Ursprünglich	21,9	36,9	24,6
Nach dem Walzen	41,4	48,5	10,4
Nach dem Walzen und Glühen	23,3	37,6	25,0

Bei Versuchen mit Drähten fand Wertheim[2]):

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg
für Eisendraht		
nach dem Ziehen, nicht geglüht	61,0	32,5
geglüht	48,8	5,0
für Flußstahldraht		
nach dem Ziehen, nicht geglüht	80,0	55,6
geglüht	65,7	5,0

Auch die beim Lochen (Seite 51 III) eintretende Abnahme der Festigkeit und Zunahme der Sprödigkeit läßt sich durch Glühen der gelochten Teile wieder beseitigen. Tetmajer fand z. B. bei

---

1) Engineering and Mining Journal, Band 47, Seite 262.
2) Annales de chimie et de physique, Reihe 3, Band 12.

Versuchen mit Schweißeisenblechen[1]) und Flußeisenträgern[2]) folgende Mittelwerte:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm. Schweißeisen kg	Flußeisen kg
Vor dem Lochen	42,0	44,8
Nach dem Lochen, nicht geglüht .	35,7	35,3
Nach dem Lochen, geglüht	42,7	48,6

Häufig macht man von dieser Wirkung des Glühens Anwendung. Beim Ziehen von Drähten, welches im kalten Zustande geschehen muß, verlieren diese bald ihre Geschmeidigkeit; man glüht sie aus und macht sie dadurch für die Weiterverarbeitung tauglich. Auch der fertige Draht wird geglüht, sofern man nicht Elastizität, sondern Geschmeidigkeit von ihm verlangt (Bindedraht); ebenso Bleche, welche starken Biegungen unterworfen werden sollen, und andere Gegenstände mehr.

Ausglühen abgelöschten (gehärteten) Eisens.

Charpy ermittelte bei seinen auf Seite 53 III erwähnten Versuchen nachstehende Veränderungen der Festigkeitseigenschaften abgelöschten Eisens beim Ausglühen.

	Temperatur beim Ausglühen Grade C.	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung %	Querschnittsverringerung %
Tiegelstahl mit 0,09 v. H. Kohlenstoff, übrigens fast rein von Fremdkörpern, auf 800° C. erhitzt und in Wasser abgelöscht; Zeitdauer des Glühens 10 Minuten; bei 1100° C. kürzere Zeit	n. geglüht	32,1	48,2	17,4	62,2
	600	22,5	32,1	38,0	70,6
	700	22,5	31,0	38,3	70,6
	750	21,8	32,1	38,3	70,6
	1100	21,8	32 8	38,4	70,5
Tiegelstahl mit 0,07 v. H. Kohlenstoff, 0,14 v. H. Mangan, wie vorstehend erwähnte Probe behandelt	n. geglüht	39,2	50,1	20,5	59,6
	500	23,9	30,4	40,0	81,0
	600	23,9	29,5	40,8	79,6
	700	20,6	29,5	40,6	79,6
	800	21,7	28,6	40,3	74,0
	1100	21,0	29,1	40,4	76,0

Die Versuche lehren, daß durch Erhitzung über 600° C. (Rotglut) hinaus der Erfolg nicht mehr gesteigert wird, sofern die Zeitdauer des Glühens in jener Temperatur ausreichend lang bemessen ist.

Über den Einfluß des Erwärmens auf minder hohe Temperaturen teilte Knut Styffe folgende Beobachtung mit[3]):

[1]) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 175.
[2]) Wertbestimmung deutscher Normalprofile, Zürich 1885, Seite 64.
[3]) Aus einer Abhandlung Styffes in Jernkontorets Annaler 1866, Seite 11, mitgeteilt in R. Åkerman, On hardning iron and steel, Seite 33.

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Querschnittsverringerung %
Tiegelstahl (mit 0,82 v. H. Kohlenstoff), naturhart	60,1	54,0
Derselbe, gehärtet	108,0	2,5
Derselbe, gehärtet und eine halbe Stunde auf 240° C. erwärmt	85,9	7,0

Obschon der Einfluß auch der schwächern Erhitzung hierbei unverkennbar ist, erreicht er trotz der verhältnismäßig langen Zeitdauer nicht jenes Maß wie in höherer Temperatur. Umfänglichere Untersuchungen wurden durch Brinell angestellt, indem er Proben abweichender Zusammensetzung nach dem Härten auf verschiedene Temperaturen erhitzte und dann langsam abkühlen ließ. Seinen Zusammenstellungen der zahlreichen Versuchsergebnisse [1]) sind nachfolgende Beispiele entnommen. Die im Walzwerke gestreckten Versuchsstücke wurden in den hier mitgeteilten Fällen bei 850° C. in Wasser von 20° C. abgelöscht und auf die hier unten angegebenen Temperaturen erwärmt.

Zusammensetzung: Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor	Art der Behandlung	Streckgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung auf 100 mm %	Querschnittsverringerung %
0,09	0,005	0,10	0,02	0,03	Naturhart	18,9	32,7	37,8	73,3
					Gehärtet, nicht angelassen	41,9	61,8	20,4	65,5
					Gehärtet und auf 350° C. erwärmt	24,7	41,5	32,2	79,7
					Gehärtet und auf 550° C. erwärmt	23,8	35,8	40,0	75,0
0,34	0,27	0,49	0,02	0,08	Naturhart	28,0	55,1	29,2	53,2
					Gehärtet, nicht angelassen	47,3	90,7	2,3	4,1
					Gehärtet und auf 350° C. erwärmt	79,2	149,5	5,8	24,3
					Gehärtet und auf 550° C. erwärmt	45,7	89,5	15,7	59,6
0,64	0,34	0,18	0,01	0,03	Naturhart	34,4	77,1	15,5	21,9
					Gehärtet, nicht angelassen	n. best.	n. best.	n. best.	n. best.
					Gehärtet und auf 350° C. erwärmt	"	155,3	0,0	0,0
					Gehärtet und auf 550° C. erwärmt	94,5	111,1	12,7	30,4
0,94	0,29	0,25	0,01	0,03	Naturhart	46,1	98,1	7,5	8,5
					Gehärtet, nicht angelassen	n. best.	96,1	0,0	0,0
					Gehärtet und auf 350° C. erwärmt	"	n. best.	n. best.	n. best.
					Gehärtet und auf 550° C. erwärmt	96,3	132,4	9,0	14,9

Obschon einzelne dieser Ziffern auffällige, vermutlich durch Zufälligkeiten veranlaßte Abweichungen aufweisen, lassen sie doch im großen und ganzen schon nach dem Erwärmen auf 350° C. deutliche Änderungen der Festigkeitseigenschaften erkennen, deren Maß mit der Temperatur wächst. Vergleicht man die Festigkeitseigenschaften des naturharten (d. i. heiß gewalzten und dann in

[1]) Mitgeteilt in Wahlbergs Bericht: Hallfasthetsproof och andra undersökningar å diverse metaller och ämnen, Stockholm 1901; auch in The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 234.

gewöhnlicher Weise abgekühlten) Metalls mit denen des gehärteten und später auf 550° C. erhitzten Metalls, so zeigt sich mehrfach, daß nicht nur die Festigkeit, sondern auch die Zähigkeit durch diese Behandlung gesteigert worden ist; die Güte des Eisens hat demnach zugenommen.

Ausglühen gegossenen Flußeisens.

Wie oben erwähnt worden ist, nehmen beim Glühen gegossenen Flußeisens die Zähigkeit und die Festigkeit zu; das Gefüge wird gleichmäßig feinkörnig und die Spannungen werden beseitigt, welche bei der ungleichmäßigen Abkühlung des Metalls nach dem Gießen in dem Abgusse entstehen. Das günstigere Verhalten des geschmiedeten und gewalzten Flußeisens im Vergleich zu dem des rohen Metalls ist in erster Reihe dem Einflusse der vor der Bearbeitung stattfindenden Erhitzung an und für sich zuzuschreiben, und erst an zweiter Stelle spielt der Einfluß der Bearbeitung eine Rolle; den Beweis dafür liefert die Tatsache, daß man imstande ist, gegossenen Gebrauchsgegenständen aus Flußeisen durch zweckmäßig geleitetes Glühen annähernd die gleichen Eigenschaften wie geschmiedetem oder gewalztem Metalle zu verleihen. Daher ist es Regel, solche Gegenstände einem Ausglühen zu unterwerfen, um ihre Eigenschaften zu verbessern. Kleinere Gegenstände glüht man einige Stunden, größere mitunter einige Tage (einschließlich der langsamen Abkühlung).

Einer englischen Quelle sind nachstehend mitgeteilte Versuchsergebnisse über die Veränderungen der Festigkeitseigenschaften beim Glühen von Formgußstücken aus Flußeisen entnommen[1]).

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung %
Vor dem Glühen . . .	60,0	4,0
Nach dem Glühen . . .	70,5	8,0
Vor dem Glühen . . .	49,0	4,2
Nach dem Glühen . . .	56,9	14,6
Vor dem Glühen . . .	34,0	1,0
Nach dem Glühen . . .	44,0	13,0
Vor dem Glühen . . .	67,1	2,0
Nach dem Glühen . . .	66,5	12,0
Vor dem Glühen . . .	54,0	1,6
Nach dem Glühen . . .	72,3	7,2
Vor dem Glühen . . .	46,5	13,3
Nach dem Glühen . . .	47,0	27,5

[1]) Iron, Band 16 (1880), Seite 487. Der Name des Verfassers ist nicht genannt.

Werden Flußeisenblöcke geglüht und alsdann im glühenden Zustande verarbeitet, so ist der Einfluß des Glühens weniger deutlich wahrnehmbar, weil immerhin ein Teil der hierbei stattgehabten Veränderungen auch durch die Bearbeitung veranlaßt worden ist. Ein Vergleich der nachstehenden Ziffern, beim Prüfen von Bessemerblöcken aus Fagersta im rohen und ausgeschmiedeten Zustande erlangt[1]), mit den oben stehenden kann ein allgemeineres Urteil ermöglichen, inwiefern die Veränderungen der Eigenschaften dem Ausglühen allein oder der Bearbeitung zuzuschreiben sind. Die rohen Blöcke besaßen 152 mm Durchmesser und wurden auf 51 mm Durchmesser ausgeschmiedet.

	Kohlenstoffgehalt	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 254 mm ursprüngl. Länge %	Querschnittsverringerung %
Im rohen Zustande.	0,2	15,6	37,2	11,6	11,9
Geglüht und geschmiedet	0,2	24,7	42,1	22,5	61,8
Im rohen Zustande	0,4	19,9	38,8	3,4	4,2
Geglüht und geschmiedet	0,4	27,6	52,7	17,9	52,5
Im rohen Zustande	0,6	27,3	46,8	1,7	2,3
Geglüht und geschmiedet	0,6	33,5	68,8	10,2	28,4
Im rohen Zustande	0,8	33,5	47,2	1,1	1,5
Geglüht und geschmiedet	0,8	46,8	69,8	2,2	3,2

Ausglühen heifs gewalzten Flufseisens.

Aus den Ergebnissen von Brinells mehrfach erwähnten Versuchen mögen die auf Seite 62 folgenden als Beispiele hier Platz finden. Die geprüften Stäbe waren in Rotglut aus Martinblöcken gewalzt und besaßen 18 mm Durchmesser.

Die Beispiele lassen eine Verbesserung der Eigenschaften des heiß gewalzten Eisens durch Erhitzen mit darauffolgender langsamer Abkühlung erkennen. Die mittlere Streckgrenze der aufgeführten vier Eisenproben hat sich nach dem Erhitzen auf 350° C. von 32,8 kg auf 33,2 kg, die mittlere Zugfestigkeit von 65,8 kg auf 67,5 kg, die mittlere Längenausdehnung von 22,5 auf 25,2 v. H., die mittlere Querschnittsverringerung von 39,2 auf 40,1 v. H. gehoben. Der Erfolg dürfte vornehmlich auf die bei den Versuchen stattgehabte gleichmäßige Abkühlung der Probestäbe zurückzuführen sein, durch welche die bei der weniger gleichmäßigen Abkühlung nach dem Walzen hinterbliebenen Spannungen beseitigt wurden.

Ähnliche, zum Teil noch erheblichere Erfolge zeigen sich, wenn man die Mittelwerte der Eigenschaften auf 850° C. und 1100° C. berechnet.

[1]) Versuche von Kirkaldy, mitgeteilt in R. Åkerman, On hardning iron and steel, The Journal of the Iron and Steel Institute 1879 II.

Zusammensetzung: Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor	Art der Behandlung	Streckgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 100 mm %	Querschnittsverringerung %
0,09	0,005	0,10	0,02	0,08	Nicht geglüht	18,9	32,7	37,8	73,3
					Bei 350° C. geglüht u. langsam erkaltet	19,7	32,2	44,3	75,0
					Bei 850° C. geglüht u. langsam erkaltet	20,8	33,9	40,7	73,6
					Bei 1100° C. geglüht u. langsam erkaltet	25,9	34,4	49,0	75,7
0,34	0,27	0,49	0,02	0,08	Nicht geglüht	28,0	55,1	29,2	53,3
					Bei 350° C. geglüht u. langsam erkaltet	29,5	55,0	31,5	54,8
					Bei 850° C. geglüht u. langsam erkaltet	27,7	54,1	32,1	53,7
					Bei 1100° C. geglüht u. langsam erkaltet	28,8	58,8	30,0	55,8
0,64	0,34	0,18	0,01	0,08	Nicht geglüht	34,4	77,1	15,5	21,0
					Bei 350° C. geglüht u. langsam abgekühlt	36,4	80,4	15,7	19,9
					Bei 850° C. geglüht u. langsam abgekühlt	41,7	77,9	19,0	31,0
					Bei 1100° C. geglüht u. langsam abgekühlt	41,7	76,4	20,2	28,9
0,94	0,29	0,25	0,01	0,03	Nicht geglüht	46,1	98,1	7,5	8,5
					Bei 350° C. geglüht u. langsam abgekühlt	47,2	102,3	9,2	10,7
					Bei 850° C. geglüht u. langsam abgekühlt	45,5	91,8	15,7	23,6
					Bei 1100° C. geglüht u. langsam abgekühlt	63,4	106,8	9,5	15,2

Vereinigung des Ablöschens (Härtens) und Anlassens.

Da durch Ablöschen in Rotglut die Festigkeit auf Kosten der Zähigkeit gesteigert, durch Anlassen aber, d. h. durch Erwärmung des abgelöschten Metalls auf weniger hohe Temperaturen als für das Ablöschen, der entgegengesetzte Erfolg erzielt wird, und das Maß dieses Erfolges von der angewendeten Anlaßtemperatur abhängt, ist man imstande, die Festigkeitseigenschaften eines und desselben Gegenstandes innerhalb ziemlich weiter Grenzen zu regeln, indem man ihn ablöscht (härtet) und dann bis zu einer bestimmten, von der ins Auge genommenen Verwendung abhängigen Anlaßtemperatur erwärmt. Außerdem ermöglicht aber auch das Härten und Wiederanlassen an und für sich eine Veredelung der Eigenschaften des Eisens, wie durch die auf Seite 59 III mitgeteilten Versuchsergebnisse Brinells erwiesen wird. Man macht von diesem, in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts in Terrenoire zuerst eingeführten Verfahren ziemlich häufige Anwendung zur Veredelung der Eigenschaften fertiger Gegenstände aus Flußeisen, sowohl gegossener (bei denen das Ausglühen allein schon, wie erwähnt, eine Veredelung bewirkt) als geschmiedeter und gewalzter. Für das erste Ablöschen dient Wasser oder bei kohlenstoffreicherem, leichter Risse bekommendem Metalle Öl. Auf das Anlassen pflegt man, wie beim Härten des Stahls (Seite 29 III), ein zweites Ablöschen folgen zu lassen, welches zwar keine Änderung der Festigkeitseigenschaften mehr bewirkt, sondern nur den Zweck hat, ein bei längerm Warmbleiben stärkeres Anlassen, als beabsichtigt war, zu verhindern[1]).

[1]) In Frankreich nennt man dieses, durch zweimaliges Ablöschen gekennzeichnete Verfahren double trempe.

Die auf Seite 62 III mitgeteilten Versuchsergebnisse Brinells waren bei Benutzung gewalzter Stäbe erlangt, welche nach dem Anlassen nicht rasch, sondern langsam abgekühlt wurden. Bei Versuchen mit Gußgegenständen aus Terrenoire, welche nach dem Anlassen abermals abgelöscht wurden, erhielt man nach Holley folgende Ergebnisse [1]).

Versuche in Terrenoire	Zusammensetzung			Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm	Längenausdehnung
	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	kg	kg	%
Im rohen Zustande	0,26	0,26	0,41	18,2	47,8	13,5
Geglüht und langsam erkaltet . . .	0,26	0,26	0,41	31,3	47,9	27,5
In Rotglut abgelöscht u. dann angelassen	0,26	0,26	0,41	31,2	55,8	20,3
Im rohen Zustande	0,32	0,30	0,48	18,1	56,8	14,8
Geglüht und langsam erkaltet . . .	0,32	0,30	0,48	20,2	54,2	21,5
In Rotglut abgelöscht u. dann angelassen	0,32	0,30	0,48	35,5	67,7	11,0
Im rohen Zustande	0,42	0,27	0,75	32,1	60,2	2,7
Geglüht und langsam erkaltet . . .	0,42	0,27	0,75	35,8	73,9	13,0
In Rotglut abgelöscht u. dann angelassen	0,42	0,27	0,75	37,8	76,0	11,7
Im rohen Zustande	0,45	0,35	1,10	30,8	59,8	2,8
Geglüht und langsam erkaltet . . .	0,45	0,35	1,10	34,0	74,0	17,5
In Rotglut abgelöscht u. dann angelassen	0,45	0,35	1,10	45,0	85,0	8,0
Im rohen Zustande	0,55	0,40	1,05	25,3	58,0	4,0
Geglüht und langsam erkaltet . . .	0,55	0,40	1,05	25,3	73,0	9,8
In Rotglut abgelöscht u. dann angelassen	0,55	0,40	1,05	28,8	77,2	6,5
Im rohen Zustande	0,63	0,55	0,95	27,8	54,1	1,6
Geglüht und langsam erkaltet . . .	0,63	0,55	0,95	33,0	75,7	7,2
In Rotglut abgelöscht u. dann angelassen	0,63	0,55	0,95	46,0	113,7	0,8

Da für die Wirkung des Verfahrens die Höhe der Härtungs- und Anlaßtemperatur von Bedeutung ist, überwacht man bei der Behandlung wertvoller Erzeugnisse die Temperaturen mit Hilfe des Le Chatelier-Pyrometers.

Einen ähnlichen Erfolg hat ein in Frankreich negative Härtung genanntes Verfahren. Man kühlt den auf 800 bis 900° C. erhitzten Gegenstand zunächst rasch auf 550 bis 600° C. ab (z. B. in geschmolzenem Blei), dann langsam auf gewöhnliche Temperatur, um hierdurch das Wiederanlassen entbehrlich zu machen. Nachstehende Beispiele der Veränderungen, welche die Festigkeitseigenschaften des Eisens hierbei erleiden, entstammen den mehrfach erwähnten Versuchen Brinells. Die gewalzten Versuchsstücke wurden teils auf 850° C., teils auf 1000° C. erhitzt und dann in geschmolzenem, auf 550° C. erwärmtem Blei abgekühlt [2]).

[1]) Metallurgical Review, Band 2, Seite 220; daraus in Åkermans genannter Abhandlung: On hardning iron and steel.

[2]) Näheres hierüber auch in der unter Literatur genannten Abhandlung von A. Le Chatelier.

Zusammensetzung: Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor	Art der Behandlung	Streckgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 100 mm %	Querschnittsverringerung %
					Naturhart	18,9	32,7	37,8	73,8
0,99	0,005	0,10	0,02	0,03	Auf 850° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	20,8	34,7	41,9	71,9
					Auf 1000° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	27,8	35,3	44,5	74,7
					Naturhart	28,0	55,1	29,2	53,2
0,34	0,27	0,49	0,02	0,03	Auf 850° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	35,6	65,3	26,0	58,8
					Auf 1000° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	44,6	70,3	27,6	56,7
					Naturhart	34,4	77,1	15,5	21,9
0,64	0,34	0,18	0,01	0,03	Auf 850° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	61,3	99,9	12,5	30,1
					Auf 1000° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	63,3	104,0	12,0	33,7
					Naturhart	46,1	98,1	7,5	8,5
0,94	0,29	0,25	0,01	0,03	Auf 850° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	71,1	120,9	9,5	19,6
					Auf 1000° C. erhitzt, in Blei abgekühlt	94,8	145,2	8,0	21,5

g) Beizbrüchigkeit.

Den auf Seite 383 I gegebenen Mitteilungen zufolge vermag schmiedbares Eisen beim Behandeln mit verdünnten Säuren, deren Einwirkung auf das Eisen mit einer Wasserstoffentwickelung verknüpft ist, Wasserstoff im Entstehungszustande aufzunehmen und wird dadurch spröde, entläßt aber den aufgenommenen Wasserstoff bei mäßiger Erwärmung oder auch bei langem Lagern an trockenem Orte in gewöhnlicher Temperatur wieder und nimmt dabei seine ursprünglichen Eigenschaften wieder an.

Da jene Behandlung des Eisens mit Säuren vornehmlich zum Zwecke des Beizens, d. h. einer Reinigung der Oberfläche von Glühspan auf chemischem Wege, ausgeführt wird, hat man die hierdurch erzeugte Brüchigkeit Beizbrüchigkeit genannt. Vornehmlich ist es die Biegsamkeit des Eisens, welche Einbuße erleidet. Je schwächer der Querschnitt des Eisenstückes ist, desto stärker ist die Einwirkung, da der Wasserstoff von der Außenfläche her eindringt und demnach um so leichter sich innerhalb des ganzen Querschnitts verteilt, je kleiner dieser ist. Daher ist das Auftreten der Beizbrüchigkeit vorzugsweise deutlich bei Drähten erkennbar. Drähte, welche vor dem Beizen 10 Biegungen auszuhalten vermögen, ehe sie brechen, ertragen, wenn sie 3 bis 4 Stunden mit verdünnter Schwefelsäure behandelt wurden, oft nicht mehr als 2 bis 3 Biegungen; bisweilen ist der Unterschied noch erheblicher[1]).

Sehr empfindlich ist Stahl, zumal im gehärteten und angelassenen Zustande, gegen den geschilderten Einfluß des Beizens. Gehärtete und blau angelassene Federn aus Stahl mit 0,65 v. H. Kohlenstoff, auf Biegung beansprucht, brachen im ungebeizten

[1]) Zahlreiche Beispiele sind in den unter Literatur genannten Abhandlungen über diesen Gegenstand gegeben.

Zustande bei einer Bruchspannung von durchschnittlich 169,5 kg, im gebeizten Zustande von durchschnittlich 102,5 kg auf 1 qmm [1]). Während des Beizens waren sie mit Zink in Berührung gewesen, um ein Auflösen von Eisen durch Säure, auf welches die Festigkeitsverminderung zurückgeführt werden könnte, zu verhüten [2]). Auch die Widerstandsfähigkeit des Stahls gegen Schlagwirkungen wird durch das Beizen verringert. Ungehärtete Stahlstäbe mit einem Kohlenstoffgehalte von 0,51 v. H., 50 mm im Quadrat stark, wurden bei 0,6 m freier Auflage in der Mitte durch Schläge eines Fallbäres von etwa 55 kg Gewicht geprüft. Im ungebeizten Zustande ertrugen drei solcher Stäbe eine Schlagarbeit von durchschnittlich 1643 mkg, im gebeizten Zustande nur von 895 mkg [3]).

Dagegen wird die Zugfestigkeit des Eisens durch das Beizen nicht merklich beeinflußt; auch die elastischen Eigenschaften gegenüber der Beanspruchung durch Zugkräfte erleiden keine Änderungen. Eisendrähte zeigten vor dem Beizen eine Festigkeit von durchschnittlich 55,0 kg bei 4 v. H. Längenausdehnung, nachher 55,8 kg Festigkeit bei 5,5 v. H. Dehnung; Stahldrähte vor dem Beizen 121,1 kg Festigkeit bei 8,7 v. H. Dehnung; nachher 121,7 kg Festigkeit bei 9,0 v. H. Dehnung [4]).

Der besprochene Einfluß des Beizens ist nicht ohne Bedeutung für den Betrieb. Beizt man z. B. geglühte Drähte, um sie von ihrem Glühspan zu befreien, so sind sie unmittelbar nach dem Beizen so spröde, daß ein ferneres Ziehen zunächst nicht möglich ist; aber sie verlieren ihre Sprödigkeit bei längerem Liegen. Federn aus Stahl brechen bei der Benutzung, wenn man sie gebeizt hatte, aber erweisen sich als gut haltbar, wenn das Beizen unterblieb. Drahtseile, welche in Gruben mit sauren Wassern in Berührung treten, können hierdurch spröde werden, und ein Seilbruch kann die Folge davon sein; aber sie werden wieder brauchbar, wenn man sie einige Zeit der Einwirkung des Grubenwassers entzieht.

h) Einfluſs der Form und Gröſse des beanspruchten Querschnitts.

Die Form des beanspruchten Querschnitts bleibt beim schmiedbaren Eisen ohne deutlichen Einfluß auf seine Festigkeitseigenschaften. Aus Versuchen, welche auf Veranlassung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute mit quadratischen, rechteckigen und runden Stäben desselben Eisens angestellt wurden, ergab sich, daß die Zugfestigkeit gleich war [5]). Barba und Goedicke fanden, daß rechteckige Stäbe größere Dehnung zeigten als Rundstäbe, und ersterer ermittelte, daß die Dehnungsziffer am günstigsten ausfalle, wenn das Verhältnis der Dicke zur Breite des Stabes = 1/6 sei [6]).

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 690.

[2]) Das Zink wird hierbei elektropositiv, das Eisen elektronegativ. An der Oberfläche des Eisens findet Wasserstoffentwicklung statt, das Zink wird oxydiert.

[3]) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 754.

[4]) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 747.

[5]) „Stahl und Eisen" 1881, Seite 7; 1892, Seite 938.

[6]) Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1887, Seite 264. Näheres über diesen Gegenstand: A. Martens, Materialienkunde, Band 1, Seite 96 ff.

Dagegen ändern sich die Festigkeitseigenschaften nicht unerheblich mit der Größe des beanspruchten Querschnitts. Die Festigkeit, bezogen auf die Flächeneinheit des Querschnitts, wächst häufig, wenn der Querschnitt abnimmt. Die Tatsache ist zum Teil durch die Verbesserung der Beschaffenheit bedingt, welche durch die länger ausgedehnte Bearbeitung, d. h. Querschnittsverringerung, erreichbar ist. Besonders deutlich zeigt sich die geringere Festigkeit von Gegenständen mit größeren Querschnitten beim Schweißeisen, wo die stärkere Durcharbeitung der auf dünnere Querschnitte ausgestreckten Gegenstände und die bei der stärkeren Durcharbeitung vollständigere Reinigung von eingemengter Schlacke zur Verbesserung der Beschaffenheit beiträgt.

Die vor dem Bruche eintretende Längenausdehnung bei Zugversuchen, bezogen auf die nämliche ursprüngliche Abmessung, fällt dagegen bei dünneren Probestücken geringer aus als bei dicken. Die Erklärung hierfür liefert der Umstand, daß bei gleicher Länge zweier Versuchsstücke das Verhältnis dieser Länge zum Querschnitte um so größer sich beziffert, je kleiner der letztere ist. Wenn zwei Stäbe von derselben Länge, aber verschieden starkem Querschnitte, eine Querschnittsverringerung um je 25 v. H. des ursprünglichen Querschnitts erfahren, muß die hierdurch bewirkte Ausdehnung der Länge bei dem dickeren Stabe beträchtlicher ausfallen als bei dem dünneren.

Bei Proben mit dem nämlichen Flußeisen, welches zu Trägern, Flach- und Rundeisen von verschiedener Dicke gewalzt worden war, ergaben sich nachstehende Ziffern der Zugfestigkeit und Längendehnung[1]).

	Dicke des Probestabes mm	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 200 mm Länge %
Träger	16,7	38,9	30,5
desgleichen, schwächer	10,8	40,6	27,0
desgleichen, noch schwächer . . .	7,3	44,7	23,5
Rundeisen, 28 mm stark	28,0	40,4	31,5
desgleichen, 20 mm stark	20,0	40,0	29,0
desgleichen, 12 mm stark	12,0	42,9	25,0
desgleichen, 8 mm stark	8,0	46,9	16,5

Die stattfindende Längenausdehnung, ausgedrückt in Hundertteilen der ursprünglichen Länge, bleibt bei größeren und kleineren Querschnitten aus dem nämlichen Stoffe alsdann annähernd gleich, wenn die Meßlängen sich wie die Wurzeln aus den Flächeninhalten der Querschnitte verhalten[2]).

Die Beachtung dieser Einflüsse der Querschnittsgrößen ist für die Beurteilung des Eisens von Wichtigkeit.

[1]) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 942.
[2]) A. Martens, im genannten Werke, Seite 96.

i) Einfluſs wiederholter Erschütterungen.

Vielfach will man in früherer Zeit die Beobachtung gemacht haben, daß Eisenteile, welche anhaltenden Erschütterungen ausgesetzt sind, z. B. Achsen von Eisenbahnwagen, Kranketten u. a. m., eine Änderung des Gefüges erlitten und dadurch an Festigkeit und Zähigkeit eingebüßt hätten, insbesondere auch, daß sehniges, zähes Eisen auf diese Weise in körniges, sprödes Eisen umgewandelt worden und daß dieser Vorgang die Ursache vorgekommener Brüche von Gegenständen gewesen sei, welche Jahrzehnte hindurch, ohne zu brechen, ihrem Zwecke genügt hatten. Noch heute begegnet man bisweilen der gleichen Meinung. Sie erhielt eine scheinbare Bestätigung durch das im Jahre 1870 von Wöhler auf Grund eingehender Versuche aufgestellte Gesetz, nach welchem der Bruch eines Körpers durch vielfach wiederholte Beanspruchungen herbeigeführt werden kann, deren jede einzelne nicht die Bruchgrenze erreicht[1]). Spätere Versuche haben jedoch erwiesen, daß auch durch eine unbegrenzte Zahl von Anstrengungen ein Bruch alsdann nicht herbeigeführt wird, wenn ein gewisses Maß der Beanspruchung, welches man die Arbeitsfestigkeit des Stoffs nennt, nicht überschritten wird[2]).

Als irrig hat sich jedenfalls jene Ansicht erwiesen, daß ein durch wiederholte Anstrengungen herbeigeführter Bruch die Folge einer stattgehabten Gefügeänderung sei, insbesondere, daß sehniges Schweißeisen sich durch anhaltende Erschütterungen in körniges umwandele. Auf Seite 4 III wurde bereits des Umstandes gedacht, daß das Bruchaussehen des sehnigen Eisens von der Art und Weise des Abbrechens abhängig sei, und daß sehniges Eisen eine körnige Bruchfläche aufweisen könne, wenn der Bruch plötzlich durch einen heftigen Stoß erfolge. Ein solcher Stoß aber pflegt die Ursache jener Brüche zu sein, bei welchen man die Umwandlung des sehnigen Gefüges in körniges beobachtet haben wollte.

Bauschinger untersuchte im Jahre 1878 Kettenglieder einer im Jahre 1829 erbauten und bei der Benutzung steten Erschütterungen unterworfenen Kettenbrücke zu Bamberg und verglich sie mit noch vorhandenen, in Vorrat aus demselben Eisen gefertigten, unbenutzt gebliebenen. Es ergab sich:

	Elastizitätsmodul auf 1 qmm kg	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm kg	Streckgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Querschnittsverringerung %	Verlängerung auf 200 mm %
Kettenglied aus dem Vorrat	22980	26,10	28,60	31,20	3	0,8
Neues in der nämlichen Fabrik gefertigtes Kettenglied	22980	20,00	26,70	36,80	30	5,1
Benutzte Kettenglieder, Durchschnittsziffern aus drei Versuchen	22400	20,20	25,30	33,36	30	6,4

[1]) Zeitschr. f. Bauwesen, Band 20, Seite 83.

[2]) Ebenda, Band 25 (Spangenberg); ferner Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium in München, Heft 13 (Bauschinger); A. Martens, Materialienkunde, Band 1, Seite 207.

Die Bruchfläche der zerrissenen Glieder ließ keinen durch die Benutzung herbeigeführten Unterschied erkennen; die benutzten Glieder zeigten zum großen Teile sehniges Gefüge.

Bei schmiedeeisernen Hängebolzen einer hölzernen Eisenbahnbrücke der Algäubahn, welche vor der Benutzung auf ihre Festigkeitseigenschaften geprüft worden waren und dann durch Bauschinger nach 25jähriger Benutzung wiederum geprüft wurden, zeigte sich ebenfalls keine Verschlechterung der Festigkeitseigenschaften. Es ergaben sich als Mittelwerte aus mehreren Versuchen:

	Elastizitätsgrenze auf 1 qmm	Zugfestigkeit auf 1 qmm
vor der Benutzung .	23,10 kg	31,20 kg
nach der Benutzung .	20,18 „	31,00 „

Auch ein im Jahre 1888 durch Belelubsky vorgenommener Vergleich der Festigkeitseigenschaften von Kettengliedern der seit 40 Jahren benutzten Kettenbrücke zu Kiew mit den Festigkeitseigenschaften der aus demselben Eisen in Vorrat gefertigten Kettenglieder ließ keine Veränderung dieser Eigenschaften erkennen. Alle Probestücke zeigten faseriges Gefüge [1]).

Auf Grund von Untersuchungen eines Brückenträgers, welcher 30 Jahre im Betriebe gewesen und von etwa 220000 Eisenbahnzügen befahren worden war, gelangte Brik zu dem Ergebnisse, daß die Dauer umsichtig entworfener und gut im Stande erhaltener Brücken unabsehbar sei und jedenfalls über mehrere Menschenalter hinaus sich erstrecke [2]), und zahlreiche im mechanisch-technischen Laboratorium der technischen Hochschule zu München durch Bauschinger angestellte Versuche, bei welchen Eisen- und Stahlstäbe wiederholten Erschütterungen ausgesetzt wurden, führten ihn zu der Schlußfolgerung:

„Oftmal, millionenmal wiederholte Anstrengungen des Eisens und Stahls bringen keine Änderung der Struktur hervor [3])."

k) Einfluſs der Temperatur.

Mit der Temperatur ändern sich die Festigkeitseigenschaften des Eisens. Bei der Wichtigkeit, welche dieser Umstand für die Verwendung des Eisens besitzt, sind zahlreiche Untersuchungen hierüber bereits angestellt worden, ohne daß jedoch jede dabei in Betracht kommende Frage schon ihre befriedigende Beantwortung gefunden hätte. Die erste Veranlassung zu solchen Versuchen gab die Beobachtung, daß Dampfkessel platzten, wenn sie beim Sinken des Wasserspiegels glühend wurden; man verglich die Festigkeit des benutzten Eisens in gewöhnlicher Temperatur mit der des

---

1) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 917; 1895, Seite 474, 865.

2) Zeitschr. des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1896, Seite 97 und 105. Vergl. auch „Stahl und Eisen" 1896, Seite 712 (Mehrtens).

3) Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium, Heft 13, Seite 43. Über die Änderung des Gefüges durch Erschütterungen vergl. auch A. Martens, Materialienkunde I, Seite 232.

glühenden und fand, daß letztere von 43,4 kg auf 7,8 kg gesunken war[1]). Umfänglichere Versuche wurden in den späteren Jahrzehnten von Knut Styffe[2]), Kollmann[3]) und anderen angestellt. Der Erlangung zuverlässiger Ergebnisse stand jedoch bei diesen früheren Versuchen die Schwierigkeit entgegen, bestimmte Temperaturen während des Versuchs unverändert zu erhalten und hohe Temperaturen genau zu bestimmen. Erst nachdem im Laufe der Zeit die Vorrichtungen hierfür sowie auch für die Festigkeitsprüfung selbst erheblich vervollkommnet worden waren, konnte man sich ein deutlicheres Bild von den Veränderungen verschaffen, welche die Festigkeitseigenschaften des Eisens beim Wechsel der Temperatur erleiden.

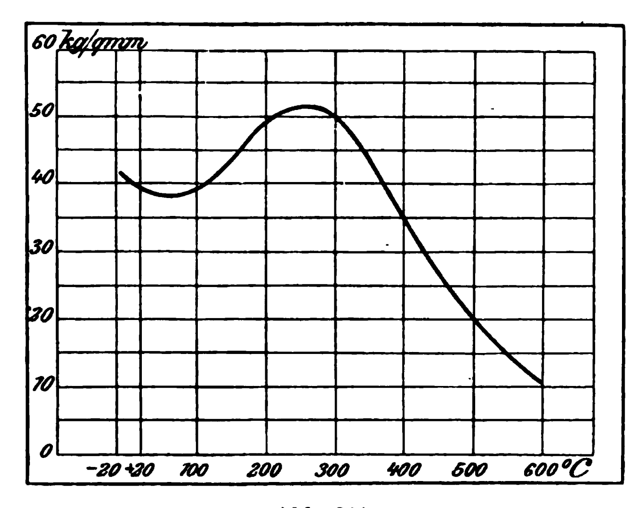


Abb. 244.

Diese Veränderungen, oder die Temperaturen, welche die gleichen Veränderungen hervorrufen, sind nicht immer genau dieselben; Unterschiede erwachsen aus der Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung und vielleicht auch aus dem Umstande, ob das Eisen Schweißeisen oder Flußeisen ist. Im allgemeinen aber zeigen die neueren Versuchsergebnisse gute Übereinstimmung.

Festigkeitsprüfungen, welche auf Veranlassung des Vereins deutscher Eisenhüttenleute und des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes in den Jahren 1887 bis 1890 bei der königlichen technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg mit Flußeisenproben verschiedener Herkunft ausgeführt wurden, ergaben nachstehende Werte[1]):

---

[1]) Versuche von Tremery und Proirier-Saint-Brice im Jahre 1828, mitgeteilt in den Annales des mines, Reihe 2, Band 3, Seite 513.

[2]) Knut Styffe, Die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl, deutsch von C. M. Freiherr von Weber. Weimar 1870.

[3]) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1880, Seite 92.

	Temperatur Grade C.	Proportionalitätsgrenze auf 1 qmm kg	Streckgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 100 mm ursprüngl. Länge %	Querschnittsverminderung %
Flußeisen I	— 20	12,8	24,7	41,2	31,9	55,8
	+ 20	16,5	22,0	38,4	30,4	58,6
	+ 100	14,6	20,0	39,1	14,1	50,9
	+ 200	18,1	19,9	50,8	15,8	41,5
	+ 300	10,8	15,6	47,4	20,0	22,9
	+ 400	6,5	11,8	34,1	35,0	57,5
	+ 500	—	—	19,8	50,2	79,6
	+ 600	—	3,2	10,7	76,7	90,5
Flußeisen II	— 20	15,8	26,8	46,7	26,8	48,7
	+ 20	17,1	26,0	43,7	28,9	48,7
	+ 100	16,7	24,6	43,9	15,6	43,7
	+ 200	18,9	22,9	54,8	14,8	33,2
	+ 300	12,7	—	52,9	22,6	27,6
	+ 400	11,1	14,8	43,2	29,5	50,6
	+ 500	—	—	22,6	44,9	79,5
	+ 600	—	—	10,9	67,8	96,0
Flußeisen III	— 20	17,7	28,5	50,1	26,9	57,5
	+ 20	25,8	28,6	47,0	28,6	61,5
	+ 100	21,9	26,1	46,7	18,6	55,4
	+ 200	17,6	25,5	57,0	12,9	36,8
	+ 300	16,8	21,8	44,7	5,1	8,5
	+ 400	—	15,7	43,2	30,9	44,5
	+ 500	—	12,0	26,6	44,8	74,1
	+ 600	—	—	13,4	56,9	89,8

Die Zugfestigkeit fällt demnach anfänglich, wenn das Eisen von — 20° C. bis auf etwa + 50° bis 100° C. erwärmt wird, steigt alsdann und erreicht ihr höchtes Maß bei 200 bis 250° C., in welcher Temperatur die Festigkeit nicht unerheblich höher ist als in gewöhnlicher Temperatur; von hier an sinkt die Festigkeit rasch und wird sehr unbedeutend, wenn die Temperatur sich der Glühhitze (600° C.) nähert. Verzeichnet man die Schaulinie der Festigkeit einer der Eisenproben, z. B. des Flußeisens I, in verschiedenen Temperaturen, so ergibt sie das in Abb. 244 dargestellte Bild. In ähnlicher Weise verlaufen die Schaulinien der beiden anderen Proben.

Die Streckgrenze sinkt mit Zunahme der Temperatur; jener Knick in der Schaulinie der Formveränderungen aber, welcher sich beim Prüfen alles weichen Eisens in gewöhnlicher Temperatur erkennen läßt (Abb. 85 auf Seite 287 I), wird immer kleiner, je höher die Temperatur steigt und verschwindet ganz, wenn diese über 400° C. hinausgeht. Abb. 245 zeigt die bei jenen Versuchen erhaltenen Schaulinien der Formveränderungen des Flußeisens II bei der Prüfung in verschiedenen Temperaturen.

[1]) Mitteilungen d. königlichen technischen Versuchsanstalten 1890, Heft IV; im Auszuge in „Stahl und Eisen" 1890, Seite 843, und in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, Seite 440.

Der Zunahme der Festigkeit in den Temperaturen zwischen 50 bis 250° C. steht eine Abnahme der Zähigkeit, gemessen durch die beim Bruche stattgehabte Längenausdehnung oder Querschnittsverminderung, gegenüber, und diese Zähigkeit erreicht ihr geringstes Maß bei 200 bis 300° C. Die gleiche Beobachtung machte Huston[1]), und besonders deutlich wurde auch die Abnahme der Zähigkeit in jener Temperatur durch Schlag- und Biegeversuche erwiesen, welche durch Wallrand[1]), Große[2]) und anderen sowohl mit Flußeisen als mit Schweißeisen angestellt wurden. Die Tatsache liefert die Erklärung für die auf Seite 9 III besprochene Blaubrüchigkeit alles Eisens. Für alle dampfführenden Teile aus Flußeisen (Formguß) schreiben daher die Materialvorschriften der deutschen Kriegsmarine vom Jahre 1905 neben der gewöhnlichen auch eine Warmbiegeprobe vor, laut welcher sich ein quadratischer Probestab von 30 mm Seite in einer Temperatur von 200° C. um mindestens 90° bei 50 mm Krümmungsradius biegen lassen muß.

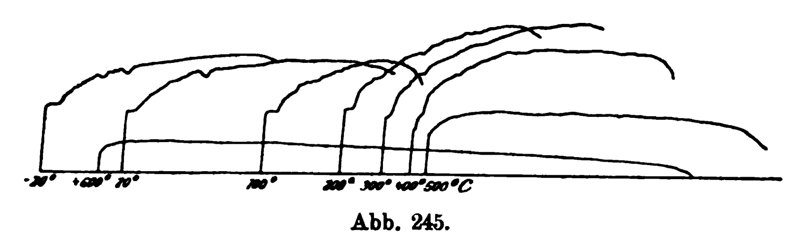


Abb. 245.

Ähnliche Veränderungen der Festigkeit und Zähigkeit beim Wechsel der Temperatur wie das Flußeisen zeigte Schweißeisen, welches späteren Versuchen in der königlichen technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg unterworfen wurde. Auch in diesem Falle lag die höchste Festigkeit und geringste Geschmeidigkeit bei etwa 250° C.[3]).

Um den Einfluß starker Winterkälte auf Eisenteile zu ermitteln, hat man im Laufe der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts mehrfach auch Versuche über das Verhalten des Eisens in sehr niedrigen Temperaturen angestellt, wobei die Proben durch Kältemischungen künstlich gekühlt und während des Versuchs kühl erhalten wurden. Steiner fand bei solchen Versuchen mit verschiedenen Eisensorten die auf Seite 72 folgenden Ergebnisse[4]):

Ähnlich waren die durch Rudeloff gemachten Beobachtungen bei noch umfassenderen, in der königlichen Versuchsanstalt zu Charlottenburg angestellten Versuchen[5]). Die Festigkeit gegenüber ruhiger Belastung wächst, wenn die Temperatur fällt; aber die Zähigkeit wird in der niedrigeren Temperatur geringer. Wenn

---

[1]) Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886, Seite 138.

[2]) Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 20, Seite 21.

[3]) Mitteilungen der königl. technischen Versuchsanstalten 1893, Seite 316.

[4]) Zeitschr. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1891, Nr. 8 und 10; auszugsweise in der Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure, Band 36, Seite 427.

[5]) Mitteilungen der königl. technischen Versuchsanstalten 1895, Seite 197.

	Temperatur Grade C.	Streckgrenze auf 1 qmm kg	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Längenausdehnung auf 200 mm ursprüngl. Länge %	Querschnittsverminderung %
Schweißeisen	— 50	32,8	42,4	15,0	51,0
	+ 18,5	27,1	41,3	18,5	48,9
Martinflußeisen	— 40	31,8	43,7	17,0	60,0
	— 23	26,4	40,7	26,0	61,2
	+ 25	25,8	40,7	30,5	63,2
Thomasflußeisen	— 50	32,8	40,9	17,0	67,7
	+ 25	25,8	38,0	28,3	69,3

daher Eisenteile, welche starken Erschütterungen ausgesetzt sind (Radreifen von Eisenbahnfahrzeugen, Eisenbahnschinen und andere), im Winter häufiger als im Sommer Brüche erleiden, so ist der Grund dafür zum Teile in der Verringerung ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen, bedingt durch ihre größere Steifigkeit (geringere Zähigkeit), zu suchen, zum anderen Teile freilich auch in der größeren Härte, also geringeren Nachgiebigkeit, des gefrorenen Erdbodens, welcher jenen erschütterten Teilen als Unterlage dient. Die Vergrößerung der Steifigkeit in niedriger Temperatur wird noch deutlicher durch einige Versuche von Köpcke und Hartig erwiesen, bei welchen Eisenstäbe Schlagwirkungen teils in gewöhnlicher Temperatur (15 bis 20° C.), teils nach vorausgegangener Abkühlung auf —40 bis —80° C. unterworfen wurden[1]). Die durch mehrere nacheinander ausgeführte Schläge hervorgerufenen mittleren Durchbiegungen für je einen Schlag betrugen z. B.

bei Schweißeisen, gewöhnliche Temperatur . . 13,7 mm,
„ „ gekühlt . . . . 10,2 „
„ Flußeisen, gewöhnliche Temperatur . . . 15,0 „
„ „ gekühlt . . . . 10,0 „

und bei einer anderen Versuchsreihe:

bei Schweißeisen, gewöhnliche Temperatur . . 10,6 mm,
„ „ gekühlt . . . . 7,2 „
„ Flußeisen, gewöhnliche Temperatur . . . 11,5 „
„ „ gekühlt . . . . 7,7 „

Obgleich demnach der gleiche Aufwand mechanischer Arbeit in der Kälte eine geringere Formveränderung des Eisens als in gewöhnlicher Temperatur bewirkt, also der Elastizitätsmodul in großer Kälte beträchtlicher als in gewöhnlicher Temperatur ist, fand andrerseits Mehrtens, daß weiches Flußeisen selbst bei Temperaturen von — 70° C. weitgehende Biegungen zu ertragen vermag, ohne Bruch zu erleiden[2]).

---

[1]) Zivilingenieur 1892, Heft 3.
[2]) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 196 und 220.

Erwähnenswert ist der Umstand, daß jener mehrfach erwähnte Knick in der Schaulinie der Formveränderungen bei Zugversuchen (Seite 287 I) um so deutlicher wird, je weiter die Temperatur sinkt, und in sehr niedrigen Temperaturen selbst bei kohlenstoffreicherem Eisen erscheint, welches ihn in gewöhnlicher Temperatur nicht erkennen läßt.

8. Das Verbrennen des schmiedbaren Eisens.

Wenn schmiedbares Eisen zu lange auf eine dem Schmelzpunkte naheliegende Temperatur erhitzt wird, ohne bearbeitet zu werden, oder wenn kohlenstoffreicheres schmiedbares Eisen bei der Erhitzung der Berührung mit oxydierend wirkenden Körpern (atmosphärischer Luft, Feuerungsgasen) längere Zeit ausgesetzt bleibt, so erleidet das Eisen eine Verschlechterung seiner Eigenschaften, und man nennt den Vorgang allgemein Verbrennen des Eisens. Verschiedene Ursachen können hierbei die Verschlechterung veranlaßt haben, und man gebraucht in Wirklichkeit den gleichen Ausdruck für abweichende Vorgänge; auch äußert sich die Verschlechterung keineswegs immer in der gleichen Weise.

Wird kohlenstoffarmes Schweißeisen längere Zeit bis nahe zum Schmelzen erhitzt, so nimmt es ein grobkristallinisches Gefüge mit eigentümlichem starken Glanze an, wird brüchig und ist auch in Rotglut nicht mehr oder nur noch schwierig bearbeitbar. Solches stark verbrannte Schweißeisen findet sich z. B. beim Schweißofenbetriebe in den auf dem Herdboden entstandenen und festgewachsenen Eisenklumpen (den Sauen), deren Gefüge nicht selten stark glänzende Absonderungsflächen von 10 mm Durchmesser aufweist; ferner auf Brandstätten, wenn Eisenteile bis nahe zum Schmelzen erhitzt worden waren, und bei ähnlichen Vorkommnissen. Eine von mir angestellte Untersuchung einer solchen Schweißofensau ergab:

Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Sauerstoff	Mangan	Kupfer
0,052	0,000	0,223	Spur	0,177	0,000	0,450

Der gefundene Sauerstoff ist jedenfalls aus der eingemengt gewesenen Schlacke in dem halbflüssigen Zustande des Eisens an dieses übergegangen und macht es rotbrüchig; die grobkristallinische Beschaffenheit des Eisens, durch die lange fortgesetzte Erhitzung und langsame Abkühlung entstanden, bedingt ein hohes Maß von Brüchigkeit in gewöhnlicher Temperatur. Mit dem Hammer kann man solches Eisen leicht in Stücke schlagen.

Eine ähnliche Veränderung, wenn auch nicht in gleich starkem Maße, zeigt alles kohlenstoffarme Eisen, wenn es bei der Erhitzung zum Zwecke seiner Verarbeitung zu lange auf Weißglut erwärmt wurde; bei dem Herausnehmen aus dem Feuer sprüht es Funken, schwieriger als bei sachgemäßer Erhitzung läßt es sich schmieden oder walzen, und nach dem Erkalten besitzt es ein grobkörniges Gefüge, welches Brüchigkeit erzeugt. Durch vorsichtiges Ausschmieden ist man mitunter, doch nicht immer, imstande,

dem in solcher Weise geschädigten Eisen seine frühere gute Beschaffenheit wieder zu geben. **Flußeisen ist gegen diese Einwirkung einer zu starken Erhitzung** empfindlicher und läßt sich schwieriger wieder herstellen als Schweißeisen. Es muß vorsichtiger als dieses behandelt werden. Jenes Funkensprühen deutet auf ein Entweichen von Gasen; vermutlich wird Kohlenstoff unter Einwirkung des an der Oberfläche gebildeten Hammerschlags oder der im Schweißeisen enthaltenen eisenoxydulreichen Schlacke verbrannt. Im Flußeisen verbrennen Mangan und Silicium, und ihre Verbrennungserzeugnisse vereinigen sich zu sogenannten Hartkörnern, welche im erkalteten Metalle eingeschlossen bleiben und bei der Bearbeitung mit der Feile durch ihre Härte ihre Anwesenheit verraten.

Deutlicher und häufiger als beim weichen, kohlenstoffarmen Eisen zeigen sich die nachteiligen Folgen einer zu starken oder zu anhaltenden Erhitzung beim Stahle, und je kohlenstoffreicher er ist, desto empfindlicher ist er gegen jede falsche Behandlung. Auch ein Chrom- oder Wolframgehalt macht ihn jenen Einwirkungen zugänglicher.

Wird der Stahl nur zu stark oder zu anhaltend erhitzt, ohne daß chemische Einwirkungen stattfinden konnten, so nimmt er, wie das weichere Eisen, ein grobkörniges Gefüge an, ist infolge davon in Rotglut weniger leicht bearbeitbar und in der Kälte spröder geworden. Er ist überhitzt. Schmiedet man ihn in Rotglut vorsichtig aus, so kann er seine frühere gute Beschaffenheit wieder erhalten, aber nicht immer ist der Erfolg sicher.

Trat der Stahl dagegen bei seiner Erhitzung mit der atmosphärischen Luft oder mit kohlensäurehaltigen Verbrennungsgasen in Berührung (z. B. bei Benutzung von Koks oder Steinkohlen für die Erhitzung), so wird leicht an seiner Oberfläche ein Teil seines Kohlenstoffgehalts — auch des Mangan-, Silicium-, Chrom- oder Wolframgehalts, falls diese Körper zugegen sind — verbrannt, und die Bezeichnung „Verbrennen des Stahls" ist in diesem Falle zutreffend. Bei nur beschränkter Einwirkung erweisen sich die äußeren Teile des verbrannten Stahlstückes nach dem Schmieden und Erkalten grobkörniger und weicher als die inneren, und besonders für Werkzeugstahl ist diese Verringerung des Härtegrades von Nachteil; bei stärkerem Verbrennen sprüht der Stahl beim Herauskommen aus dem Feuer in reichlichem Maße Funken; durch das Sintern der entstandenen nichtflüchtigen Oxyde bilden sich die schon erwähnten Hartkörner, welche beim Schmieden die Entstehung von Kantenrissen veranlassen und durch ihre Anwesenheit scheinbar die Härte des erkalteten Stahls erhöhen; dieser ist spröde und unbrauchbar geworden.

Nicht immer läßt die chemische Untersuchung deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung solchen Stahls vor und nach dem Verbrennen wahrnehmen. Denn die Entkohlung ist ungleichmäßig und betrifft vorwiegend die Oberfläche des Stahlstückes; ermittelt man in einer Durchschnittsprobe den Kohlenstoffgehalt, so ist auch in einem stark verbrannten Stahlstücke oft kein erheblicher Unterschied erkennbar. Silicium, Mangan, Chrom, Wolfram aber bleiben

obschon im verbrannten Zustande, in dem Stahle zurück und werden bei der Untersuchung in gleicher Menge als zuvor gefunden, da es ein zuverlässiges Verfahren zur getrennten Bestimmung der Oxyde dieser Körper noch nicht gibt. Einige von mir bei der Untersuchung verbrannten Stahls erlangte Ergebnisse mögen als Beispiele hier folgen[1]):

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Sauerstoff (an Eisen gebunden)	Mangan
Frischfeuerstahl, gesund	0,807	0,023	0,010	0,008	0,058	0,101
Frischfeuerstahl, verbrannt	0,726	0,026	0,024	0,007	0,039	0,098
Gärbstahl[2]), gesund	0,827	0,033	0,027	0,004	0,037	0,010
Gärbstahl, verbrannt	0,723	0,033	n. best.	0,005	0,043	0,010
Tiegelstahl, gesund	0,917	0,098	0,025	0,005	0,045	0,125
Tiegelstahl, verbrannt	0,916	0,093	0,025	0,008	0,063	0,150

Die verbrannten Stücke waren nur kurze Zeit — etwa 4 Minuten lang — in ein zur lebhaften Glut angefachtes Holzkohlenfeuer gebracht und hier bis nahe zum Schmelzen erhitzt. Sie kamen funkensprühend heraus und zeigten auch nach dem Erkalten alle erwähnten Merkmale des verbrannten Stahls.

Drei andere Stahlproben wurden, ohne überhitzt zu werden, allzu lange (während einer Stunde) der Einwirkung eines Holzkohlenfeuers in Kirschrotglut preisgegeben. Die Bestimmung des Kohlenstoffgehalts in diesen Versuchsstücken ergab:

Frischfeuerstahl, gesund; Kohlenstoffgehalt . . . 1,141 Hundertteile
Frischfeuerstahl, verbrannt; Kohlenstoffgehalt . . 1,000 „

Zementstahl, gesund; Kohlenstoffgehalt . . . . 0,891 „
Zementstahl, verbrannt; Kohlenstoffgehalt . . 0,686 „

Martinstahl, gesund; Kohlenstoffgehalt. . . . . 0,568 „
Martinstahl, verbrannt; Kohlenstoffgehalt . . . 0,504 „

Eine Wiederherstellung solches im wirklichen Sinne verbrannten Stahls ist nicht möglich, obschon zahlreiche Mittel zur Erreichung des Zweckes vorgeschlagen worden sind. Alle diese Mittel laufen darauf hinaus, den Stahl in Umhüllung mit kohlenstoffhaltigen Körpern zu glühen. Reiner Kohlenstoffstahl läßt sich wohl, wenn er nicht allzu sehr verbrannt war, etwas hierdurch verbessern; verbranntes Silicium, Mangan, Chrom, Wolfram aber können niemals durch solches Glühen wieder in ihren ursprünglichen Zustand zurückgeführt werden.

---

[1]) Jahrbuch für das Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1883, Seite 25. Die Proben sind später auch durch Wedding mikroskopisch untersucht worden. Näheres hierüber (mit Abbildungen der vergrößerten Schliffe): „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 633.

[2]) Gärbstahl ist ein durch Gärben, d. h. Schweißen, veredelter Schweißstahl. Näheres unter „Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens“.

Bei allen Verfahren der Verarbeitung schmiedbaren Eisens, welche eine Erhitzung auf hohe Temperatur notwendig machen, bedarf diese Erhitzung demnach um so größerer Vorsicht, je reicher an Kohlenstoff, Silicium, Mangan, Chrom, Wolfram das Eisen (der Stahl) ist. Erhitzung bis auf Weißglut ist nur zulässig, wenn der Kohlenstoffgehalt weniger als 0,6 v. H. beträgt; Stahl mit 0,7 bis 0,9 v. H. Kohlenstoff darf nur auf Gelbglut, noch härterer nur auf Hellrotglut erwärmt werden. Auch die Anwendung von Mitteln, welche den Stahl bei seiner Erhitzung gegen oxydierende Einflüsse zu schützen bestimmt sind (Erhitzung im Holzkohlenfeuer oder in reduzierender Flamme, Überkleiden mit einem Lehmüberzuge beim Erhitzen, und andere mehr), gewinnt um so mehr Bedeutung, je reicher der Stahl an Kohlenstoff oder den sonstigen genannten Fremdkörpern ist.

9. Die Prüfung des schmiedbaren Eisens.

Die Verschiedenheit der Ansprüche, welche an das Verhalten des schmiedbaren Eisens gestellt werden, je nachdem es für den einen oder andern Zweck bestimmt ist, erklärt es, daß auch die Verfahren für seine Prüfung ziemlich mannigfaltig sind. Für besondere Arten oder Formen des schmiedbaren Eisens (Bleche, Träger, Eisenbahnschienen u. a.) können ganz besondere Prüfungsverfahren am Platze sein, und die Prüfung wird um so wichtiger, je größer die Gefahr ist, welche durch ungenügende Beschaffenheit des aus dem Eisen gefertigten Gegenstandes, z. B. einer Eisenbahnschiene oder des Radreifens eines Eisenbahnwagens, herbeigeführt wird.

Nicht selten läßt man eine, wenn auch nur vorläufige Prüfung unmittelbar auf die Herstellung folgen, um sich von der Beschaffenheit des in einem Satze dargestellten Eisens zu überzeugen. Je größer die Menge dieses Eisens ist, und je mehr Wert auf eine bestimmte Beschaffenheit gelegt wird, desto notwendiger ist eine solche Maßnahme. Einige unten beschriebene Verfahren zur Prüfung der Schmiedbarkeit, Zähigkeit usw., welche sich in Zeit von wenigen Minuten ausführen lassen, sind hierfür geeignet und besonders bei Darstellung des Flußeisens ziemlich regelmäßig in Anwendung[1]).

a) Chemische Untersuchung.

Bei den engen Beziehungen, welche zwischen der chemischen Zusammensetzung und den physikalischen Eigenschaften des Eisens bestehen, ist eine chemische Untersuchung überall da unerläßlich, wo man sich ein klares Bild über die Eigenschaften einer bestimmten Eisenart und die Ursachen, welche diese Eigenschaften

[1]) Bei den Verfahren zur Darstellung des Flußeisens pflegt nicht nur die Menge des in einem Male (aus einem Einsatze) erfolgenden Eisens bedeutend größer zu sein als bei der Schweißeisendarstellung, sondern auch die Beschaffenheit des Erzeugnisses ist von mehr Zufälligkeiten abhängig als in letzterem Falle.

hervorriefen, verschaffen will. Die Einflüsse, welche durch die einzelnen im schmiedbaren Eisen auftretenden Körper auf dessen Eigenschaften ausgeübt werden, sind bereits in der ersten Abteilung dieses Buches (Abschnitt VII), sowie in den vorstehenden Besprechungen über die Eigenschaften des schmiedbaren Eisens erörtert worden.

Eine vollständige chemische Untersuchung irgendeines Eisens erfordert jedoch, wie bekannt, einige Tage Zeit. So wichtig sie auch in einzelnen Fällen werden kann, so wenig geeignet ist sie, als Mittel zur täglichen Beaufsichtigung des Betriebes zu dienen. Nicht selten aber sind es vorwiegend einzelne Bestandteile, von deren Gehalte die Verwendbarkeit des Eisens, zumal des an Fremdkörpern ohnehin reichern Flußeisens, für den einen oder andern Zweck abhängt, sei es, daß ein gewisser Gehalt an jenen Körpern für die gewünschte Beschaffenheit des Eisens notwendig ist, während ein allzu beträchtlich gesteigerter Gehalt die Brauchbarkeit beeinträchtigen würde (Kohlenstoff, Mangan), sei es, daß ein möglichst geringer Gehalt in jedem Falle wünschenswert ist (Phosphor, Schwefel). Hier also kann es von Nutzen sein, die Darstellung des Eisens regelmäßig durch die Bestimmung jener einzelnen Bestandteile zu überwachen; die Lösung dieser Aufgabe aber ist nur dann möglich, wenn die betreffenden Untersuchungsverfahren so rasch zum Ziele führen, daß ohne einen übermäßigen Aufwand von Arbeitskräften eine größere Zahl von Bestimmungen im Laufe eines einzigen Tages ausgeführt werden kann.

Für verschiedene der hier in Betracht kommenden Körper gibt es solche Bestimmungsverfahren, und mit Nutzen macht man davon Gebrauch. Auf fast allen Stahl- und Flußeisenwerken bestimmt man mit Hilfe der Eggertzschen oder kolorimetrischen Kohlenstoffprobe[1]), welche im Laufe einer Stunde die gleichzeitige Untersuchung verschiedener Proben ermöglicht, regelmäßig den Kohlenstoffgehalt des gewonnenen Erzeugnisses, von welchem, wie bekannt, die Eigenschaften des Eisens und Stahls in erster Reihe abhängen. Ebenso kann ein einziger Chemiker durch maßanalytische oder kolorimetrische Bestimmung den Mangangehalt zahlreicher Proben in wenigen Stunden finden, und auch eine genaue Phosphorbestimmung ist innerhalb zweier Stunden möglich. Schwefel läßt sich wenigstens mit annähernder Genauigkeit binnen einer halben Stunde bestimmen. Je deutlicher man die Wichtigkeit erkannt hat, welche die regelmäßige Untersuchung der Erzeugnisse besitzt, desto mehr sind auch die Verfahren hierfür vervollkommnet worden, und jedes Jahr bringt neue Fortschritte auf diesem Gebiete.

---

[1]) Hinsichtlich der Ausführung der für die chemische Untersuchung in Betracht kommenden Verfahren muß auf die betreffende Sonderliteratur verwiesen werden; z. B. H. Jüptner von Jonstorff, Handbuch für Eisenhüttenchemiker, Leipzig 1885; A. Blair, Die chemische Untersuchung des Eisens, deutsch von L. Rürup, Berlin 1892; H. Wedding, Die Eisenprobierkunst, Braunschweig 1894; A. Ledebur, Leitfaden für Eisenhüttenlaboratorien, 7. Auflage, Braunschweig 1907.

b) Schmiedeprobe.

Bei dieser Prüfung kommt in Betracht, daß die Schmiedbarkeit des Eisens geringer wird, wenn der Kohlenstoffgehalt zunimmt, und daß man aus diesen Gründen an die Schmiedbarkeit eines harten Stahls nicht die nämlichen Ansprüche stellen kann wie an die eines weichen, kohlenstoffarmen Eisens. Immerhin muß auch ein Stahl mit einem Kohlenstoffgehalte bis zu etwa 1 v. H. oder wenig darüber die nachfolgend beschriebenen Proben aushalten können, sofern seine Beschaffenheit gut ist und bei den Proben einige Rücksicht auf seinen höheren Kohlenstoffgehalt genommen wird.

Ein Stück des zu prüfenden Eisens wird im Schmiedefeuer auf Hellrotglut erwärmt und nun auf dem Ambos mit der Finne (der schmalen Seite) des Hammers teils in der Längsrichtung gestreckt, teils in der Breitenrichtung ausgebreitet[1]). Weder im vollen Eisen noch an den Kanten dürfen hierbei Risse entstehen, auch wenn das Ausschmieden bis auf einen Querschnitt von nur wenigen Millimetern Stärke fortgesetzt wird. Kühlt bei lange fortgesetztem Ausschmieden das Probestück allzusehr ab, so ist, zumal beim Prüfen härteren Eisens, eine abermalige Erhitzung erforderlich.



Abb. 246. Abb. 247.

Den auf einen geringen Querschnitt ausgeschmiedeten Streifen kann man in Rotglut bandartig mehrmals zusammenlegen (Abb. 246), wobei er, wenn er frei von Rotbruch ist, keine Risse bekommen darf. Je kleiner der Durchmesser der Biegung ist, ohne daß Risse entstehen, desto besser schmiedbar ist das Eisen; ein nicht rotbrüchiges Eisen läßt sich, falls sein Querschnitt gering ist, vollständig zusammenlegen. Schwach rotbrüchiges, aber übrigens gut schmiedbares Eisen bekommt zwar in gewöhnlicher Rotglut Risse, in Gelbglut oder beginnender Weißglut dagegen erträgt es die Behandlung ohne zu reißen.

Ein Rundstab oder Quadratstab von etwa 30 mm Durchmesser wird in Rotglut, ohne zuvor ausgeschmiedet zu werden, über einem Dorne zu einer Schleife (Abb. 247) zusammengebogen. Hierbei entstehen um so leichter Risse, je dicker der Stab ist, und letzterer ist um so vorzüglicher schmiedbar, auf einen je kleineren Schleifendurchmesser er das Biegen erträgt, ohne Risse zu bekommen. Verwendet man zu dieser Probe Quadratstäbe oder Flachstäbe, so kann man ihre Kanten, welche am leichtesten Risse bekommen, zuvor mit der Feile etwas abrunden. Ein gut schmied-

---

[1]) Streckung wird bewirkt, indem man das Eisenstück beim Schmieden so hält, daß die Eindrücke der Hammerschläge quer hinübergehen; beim Ausbreiten ist die Richtung der Hammerschläge mit der Längenrichtung des Eisenstückes parallel. Vergl. unten: Theorie des Schmiedens unter II.

bares Eisen läßt sich auch bei 30 mm Stärke vollständig zusammenhämmern, ohne zu reißen.

Flach- und Quadratstäbe kann man auch um die scharfe Amboßkante statt über einen runden Dorn biegen und dann allmählich zusammenhämmern.

Dieselben Versuche können, wenn das stärkere Eisen sie nicht besteht, mit schwächeren Stäben (25, 20, 15 mm stark) wiederholt werden. Steht eine Presse zur Verfügung, so können Knickproben, bei denen das Eisen in der Mitte seiner Länge um einen bestimmten Winkel (90°, 120° usf.) gebogen wird, an Stelle der Schmiedeproben treten oder neben ihnen ausgeführt werden.

Ein Rund- oder Quadratstab, dessen Länge gleich dem doppelten Durchmesser ist, wird zur Hellrotglut erwärmt, aufrecht auf den Amboß gestellt und durch Hammerschläge auf die obere Stirnfläche gestaucht, d. h. in seiner Längenabmessung verkürzt (Stauchprobe). Die Probe ist mehr für die besseren Sorten weichen Schweißeisens als für Flußeisen oder Stahl geeignet. Von gutem Schweißeisen verlangt man, daß es sich in dieser Weise auf ein Drittel seiner Länge zusammenstauchen lasse, ohne Risse zu zeigen.

Eine empfindlichere Probe auf Rotbruch als durch das beschriebene einfache Umbiegen läßt sich in folgender Weise anstellen. Ein Stück Flacheisen, etwa 25 bis 30 mm breit, 10 mm stark, wird in Rotglut an dem einen Ende auf eine Länge von 50 bis 60 mm mit Hilfe des Schrotmeißels aufgespalten, die hierbei entstehenden zwei Lappen werden alsdann nach den beiden Seiten hin umgebogen und schließlich, sofern sie nicht etwa wegen Rotbruches abbrechen, vollständig nach rückwärts an das Eisenstück angelegt (Abb. 248). An einer anderen Stelle des Eisenstabes (bei *a*) schlägt man mit Hilfe des Durchschlages und Lochringes durch das rotglühende Eisen ein Loch, dessen Durchmesser mindestens gleich der halben Breite des Stabes ist (so daß zwischen dem Lochrande und der äußeren Kante des Stabes nur noch eine schmale Eisenstärke bleibt) und biegt nun, wenn nicht schon bei dem Lochen ein Reißen des Eisens an den schmalen Stellen eintrat, den Stab an diesen Stellen um 180° zusammen. Rotbrüchiges Eisen bekommt hierbei Risse oder bricht vollständig durch.

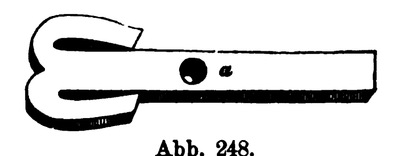


Abb. 248.

Prüft man Stahl in dieser Weise, so ist eine geringere Stärke des Probestabes, als oben angegeben wurde, erforderlich; 3 bis 5 mm genügt in diesem Falle.

c) Kaltbiegeprobe.

Diese Art der Prüfung soll ein Urteil über die Zähigkeit des Eisens ermöglichen; sie kommt deshalb weniger für Stahl (im engern Sinne) als für weiches Eisen zur Anwendung.

Die Ausführung läßt sich, gemäß der verschiedenen Form des zu prüfenden Eisens, in verschiedener Weise bewirken.

Stäbe biegt man entweder im Schraubstocke oder mit Hilfe einer besonderen Biegevorrichtung zu einer Schleife zusammen, deren innerer Durchmesser teils von der Stärke des Stabes, teils von der erforderlichen Beschaffenheit abhängt. Kohlenstoff- und phosphorarmes, sehr zähes Eisen muß bei 15 mm Stärke eine Biegung zu einer Schleife ertragen, deren innerer Durchmesser nicht größer ist als die Stärke des Probestabes; bei weniger zähem Eisen genügt die doppelte Stärke des Eisens als Durchmesser der Schleife. Schwächere Stäbe (3 bis 5 mm stark) müssen, wenn sie aus zähem Eisen gefertigt sind, sich um 180° biegen und flach zusammenschlagen lassen. Haben die Stäbe vierseitigen Querschnitt (Flach- und Quadrateisen), so empfiehlt sich auch hier, wie bei der Schmiedeprobe, eine zuvorige Abrundung der Kanten durch Befeilen.

Bei der Prüfung von Stäben, welche aus Schweißeisenblechen ausgeschnitten sind, um deren Beschaffenheit zu erproben, kommt in Betracht, daß ihre Biegsamkeit in der Richtung der Längsfaser größer ist als gegen die Faser, ferner daß die für Dampfkessel, Träger usw. bestimmten Bleche in ziemlich abgekühltem Zustande das Walzwerk verlassen und, ohne ausgeglüht zu werden, in den Handel kommen. Ihre Festigkeit ist daher größer, ihre Biegsamkeit aber geringer, als wenn sie noch hellrot glühend aus der Verarbeitung hervorgingen. Nach dem Übereinkommen des Vereins deutscher Eisenhüttenleute sollen z. B. Schweißeisenbleche bester Beschaffenheit für Dampfkessel (Feuerbleche) bei 6 bis 8 mm Stärke eine Biegung in der Längsfaser um 130°, in der Richtung gegen die Faser um 110° aushalten; bei 8 bis 10 mm Stärke soll die Biegung 120 und 100° betragen, bei 20 bis 22 mm Stärke 60 und 40°. Für geringwertige Bleche ist auch die erforderliche Biegung geringer[1]). Ausgeglühte Bleche dagegen, auch solche aus Flußeisen, müssen sich, ohne zu reißen, um 180° biegen lassen, wobei der Halbmesser der Biegung je nach der Beschaffenheit und Stärke des Bleches gleich der halben bis 1½fachen Blechdicke sein kann.

Flußeisen mit geringem Kohlenstoffgehalte prüft man mitunter, ehe noch das flüssige Metall ausgegossen wird, in folgender Weise auf Biegungsfähigkeit (Zähigkeit beim Biegen). Aus einer für diesen Zweck besonders genommenen und zu einen kleinen Blocke ausgegossenen Probe des flüssigen Metalls schmiedet man rasch eine kreisrunde Scheibe von ungefähr 150 mm Durchmesser und 5 mm Stärke, welche, nachdem sie in Wasser abgelöscht wurde, in der Mitte um 180° zusammengefaltet wird. Hält die Probe diese Biegung aus, so wird sie ein zweitesmal gefaltet (so daß sie, wie ein Papierfilter, Viertelkreisform annimmt) und unter dem Hammer flach zusammengeschlagen. Nur sehr weiches, geschmeidiges Eisen erträgt diese Probe, ohne Risse zu bekommen.

d) Schlagprobe.

Die Schlagprobe hat den Zweck, die Widerstandsfähigkeit des Eisens gegen Stöße und Erschütterungen zu ermitteln.

---

[1]) Vorschriften für die Lieferungen von Eisen und Stahl. Düsseldorf 1893.

Sie wird, sofern das zu prüfende Eisen Stabform besitzt, gewöhnlich in der Weise ausgeführt, daß man das Versuchsstück auf zwei in bestimmter Entfernung voneinander angebrachte Stützpunkte frei auflegt und nun einen Fallbär aus bestimmter Höhe auf die Mitte niederfallen läßt. Am häufigsten kommt die Schlagprobe bei der Prüfung von Eisenbahnschienen in Anwendung. So z. B. sollen nach den Vorschriften des Vereins deutscher Eisenhüttenleute Schienen im Gewichte von mehr als 30 kg auf den Meter und einer Profilhöhe von ungefähr 130 mm bei 1 m freier Auflage zunächst einen Schlag von 3000 kgm Schlagarbeit erhalten, alsdann Schläge von 1200 kgm Schlagarbeit so lange, bis eine Durchbiegung von 110 mm erreicht ist, ohne daß Bruch erfolgen darf; usf.

Zur Prüfung von Blechen durch die Schlagprobe kann man Stäbe ausschneiden und diese in der beschriebenen Weise behandeln; für besonders wichtige Untersuchungen hat man auch wohl kreisrunde Scheiben ausgeschnitten und mit Schrauben auf einem zylindrischen Rahmen befestigt, worauf man den Fallbär auf die Mitte des freiliegenden Bleches aufschlagen ließ. Bei Versuchen dieser Art, welche vom Jernkontoret in Stockholm zum Vergleiche des Verhaltens von Blechen aus Schweißeisen und Flußeisen durchgeführt wurden, hatten die Bleche $9{,}_{8}$ mm Stärke, der innere Durchmesser des Rahmens betrug 537 mm, das Gewicht des Fallbärs 872 kg. Flußeisenbleche mit $0{,}_{14}$ bis $0{,}_{22}$ v. H. Kohlenstoff, $0{,}_{01}$ bis $0{,}_{08}$ v. H. Phosphor ertrugen 5 bis 9 Schläge aus $4{,}_{5}$ m Höhe; Schweißeisenbleche mit etwa $0{,}_{10}$ v. H. Kohlenstoff, $0{,}_{01}$ bis $0{,}_{02}$ v. H. Phosphor rissen oft schon beim ersten Schlage, ertrugen dagegen aus nur $1{,}_{5}$ m Fallhöhe 4 bis 11 Schläge; Staffordshireblech mit $0{,}_{24}$ v. H. Phosphor brach schon beim ersten Schlage aus 1 m Höhe[1]).

e) **Zerreißprobe** (Zugfestigkeitsprüfung).

Sie bezweckt die Ermittelung der Zugfestigkeit des zu untersuchenden Eisens sowie der sonstigen zu dieser in Beziehung stehenden Eigenschaften (Ausdehnungsfähigkeit, Elastizität u. a.). Sie ist wichtig, sofern die aus dem Eisen zu fertigenden Teile auf Zugfestigkeit in Anspruch genommen werden und durch ihren Bruch Unglücksfälle herbeigeführt werden könnten; da sie aber verhältnismäßig leicht ausführbar ist, benutzt man sie in der Regel auch zur Beurteilung des mechanischen Verhaltens des Eisens überhaupt.

Zur Ausführung ist eine Festigkeitsprüfungsmaschine erforderlich, welche in verschiedener Weise eingerichtet sein kann[2]). Der auszuübende Druck wird entweder durch allmähliche Gewichtsbelastung hervorgebracht und durch Hebel vervielfältigt, oder man benutzt Wasserdruck. Die Anstellung der Prüfung erheischt zur

---

[1]) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris 1878, Seite 172.

[2]) Näheres hierüber unter Literatur, insbesondere auch in dem mehrfach genannten Werke von A. Martens: Handbuch der Materialienkunde.

Erlangung zuverlässiger Ergebnisse genaue Kenntnisse aller der bei der zunehmenden Belastung des Eisens eintretenden Vorgänge und der Nebenumstände, von welchen diese Vorgänge abhängen können, sowie eine gewisse Übung, die am besten durch längere Tätigkeit bei einer größeren Versuchsanstalt erworben wird.

Da jede Prüfungsmaschine nur für eine bestimmte Höchstbelastung eingerichtet sein kann, liegt häufig die Aufgabe vor, aus stärkeren Eisenstücken Probestäbe von den Querschnittsabmessungen herzustellen, welche der Leistungsfähigkeit der Maschine entsprechen. Schmieden oder Auswalzen des Probestückes auf jene Abmessungen muß in Rücksicht auf die Änderungen ausgeschlossen sein, welche die Festigkeitseigenschaften des Eisens hierdurch erleiden könnten; es ist daher erforderlich, auf der Drehbank oder Hobelmaschine das Probestück aus dem vollen Eisen herauszuarbeiten.

Daß man die vor dem Zerreißen eintretende Längenausdehnung für den Vergleich verschiedener Probestücke nur dann benutzen kann, wenn diese gleichen Querschnitt besitzen und die Längenausdehnung auf dieselbe ursprüngliche Länge bezogen wird, wurde schon früher erörtert. In der Nähe der Bruchstelle ist die Längenausdehnung regelmäßig am stärksten; auf eine je kleinere Längeneinheit man sie also bezieht, desto größere Ziffern erhält man. Gewöhnlich nimmt man 100 oder 200 mm Länge, bei sehr dünnen Gegenständen auch wohl nur 50 mm als ursrüngliches Maß und zeichnet es mit Körnerpunkten auf dem zu prüfenden Stabe an.

f) Härtungsprobe.

Die Prüfung auf Härtungsfähigkeit hat vornehmlich für die Beurteilung des Werkzeugstahls Bedeutung. Reiser empfiehlt, sie in folgender Weise auszuführen [1].

Zuerst stellt man eine Vorprüfung an zur Ermittelung der geeignetsten Härtungstemperatur. Ein geschmiedetes oder gewalztes Stück Stahl von etwa 20 mm Durchmesser wird in Abständen von 15 zu 15 mm mit etwa neun herumlaufenden Kerben versehen und dann in einem Schmiedefeuer derartig erhitzt, daß nur das erste eingekerbte Stück der Glut unmittelbar preisgegeben ist und die übrigen sich außerhalb des Feuers befinden. Ist das erste Stück bis zum Funkensprühen, also bis zum Verbrennen (Seite 73 III), erhitzt, während die Erhitzung des letzten Stückes bis zur dunkeln Braunröte vorgeschritten ist, so löscht man die Stange rasch in Wasser ab und trocknet sie mit einem Tuche ab. Man prüft nun zunächst mit einer harten Feile die Härte der einzelnen Stücke. Das erste, verbrannte Stück ist in jedem Falle ziemlich hart. An seiner Außenseite haben sich Hartkörner gebildet (Seite 74 III).

Das zweite, nicht verbrannte Stück dagegen ist weicher; da aber seine Erhitzung die eigentliche Härtungstemperatur des Stahls bereits überschritten hatte, ist es auch weicher, als wenn es nur bis zu dieser erhitzt worden wäre. Aus eben diesem Grunde ist

[1] Fr. Reiser, Das Härten des Stahls, 3. Auflage, Leipzig 1900.

das dritte Stück wieder härter als das zweite, das vierte härter als das dritte, und bei fortschreitender Untersuchung trifft man, gewöhnlich zwischen dem sechsten und achten Stücke, schließlich auf ein Stück, welches unter allen das härteste ist und dessen Temperatur mithin die geeignetste für das Härten war. Von diesem Stück bis zu dem zweiten Ende des Stahlstabes vermindert sich die Härte wieder bis zur Naturhärte des Stahls.

Mit dieser Änderung der Härte steht die Änderung des beim Abschlagen der einzelnen Stücke erkennbaren Gefüges in Beziehung. Das verbrannte Stück zeigt eine grobkristallinische, glänzende Bruchfläche; dasjenige Stück, welches die zum Härten geeignetste Temperatur besaß, ist am feinkörnigsten.

Harter Stahl reißt bisweilen bei dieser Vorprobe, welcher Vorgang jedoch an und für sich kein Beweis für eine ungenügende Beschaffenheit ist.

Nachdem man in solcher Weise erkannt hat, ob die geeignetste Härtungstemperatur des zu prüfenden Stahls höher oder niedriger liegt (bei härterem Stahle liegt sie in der Regel tiefer als bei weniger hartem), schmiedet man eine Stange von quadratischem Querschnitte und etwa 15 bis 20 mm Stärke, erwärmt sie zu der als geeignet befundenen Härtungstemperatur und härtet sie in Wasser von 20 ° C. Temperatur unter Beachtung der auf Seite 31 III besprochenen Vorsichtsmaßregeln (Hin- und Herbewegen, Auf- und Niederbewegen). Ein nicht sehr harter Stahl muß, ohne zu reißen, diese Härtung aushalten. Beachtenswert ist, daß ein Rundstab weniger leicht als ein quadratischer Risse bekommt, gerade deshalb aber sich auch weniger gut für eine scharfe Probe eignet.

Sobald der Stahl im Wasser erkaltet ist, wird er herausgenommen und abgetrocknet. Je weniger der Stahl hierbei seinen Glühspan abgeworfen hat (man nennt dieses Abwerfen Abschütten), desto weniger hart pflegt er zu sein. Alsdann untersucht man ihn mit einer Feile. Nur die weichsten Stahlsorten (mit einem Kohlenstoffgehalte bis zu 0,6 v. H.) werden hierbei etwas angegriffen, auf allem härteren Stahle gleitet die Feile.

Auf der Kante des Amboß schlägt man nun ein Stück ab. Harter Stahl springt beim ersten Schlage, weicher erträgt mehrere Schläge. Das Aussehen der Bruchfläche gibt ein weiteres Merkmal für die Beschaffenheit.

Bei sehr harten Stahlsorten, welche die beschriebene Härtung bei quadratischem Querschnitte nicht, ohne zu reißen, ertrugen, kann das Verfahren wiederholt werden, nachdem der Stab rund geschmiedet worden war; schützt auch dieses Mittel nicht vor dem Reißen, so wendet man Härtung in Öl an.

Recht zuverlässige Ergebnisse über die Brauchbarkeit eines Stahls für Werkzeuge erhält man, wenn man daraus einen Meißel fertigt, ihn härtet, bis zur purpurroten oder violetten Farbe anläßt und nun auf Gußeisen, Schmiedeeisen oder weichem Stahl prüft. Staucht sich hierbei die Schneide (welche unter einem Winkel von 60 bis 70 Grad angeschliffen wird), so besitzt der Stahl geringe Härte und Härtungsfähigkeit; springen Stückchen aus der Schneide

aus, so ist der Stahl spröde und wenigtens für Werkzeuge mit schärferen Schneiden nicht geeignet.

g) Ätzprobe.

Die Anwendung von Ätzmitteln bildet ein in vielen Fällen nützliches Verfahren zur Erkennung sowohl der inneren Anordnung der Erzeugnisse des Eisenhüttenbetriebes als auch von Fehlstellen (unganzen Schweißstellen, Gasblasen, Aussaigerungen und dergl.), welche ohne Ätzung der Beobachtung leicht entgehen. Verschiedene Ätzmittel lassen sich benutzen. Gut geeignet ist ein mäßig erwärmtes Gemisch aus gleichen Teilen Salzsäure und Wasser; einige benutzen eine Lösung von Jod in Jodkaliumlösung (in 1 l Wasser 20 g Jodkalium und 8 bis 10 g Jod), welche jedoch nur für ganz schwache Ätzungen sich eignet; für starke und rasche Ätzungen kann man auch ein Gemisch aus zwei Teilen Salpetersäure mit einem Teil englischer Schwefelsäure verwenden. Gewöhnlich ätzt man, sofern nicht besondere Veranlassung zur Untersuchung einer ganz bestimmten Stelle vorliegt, den Querschnitt eines Eisenstabes, welcher durch Abschneiden auf der Kreissäge oder in anderer Weise erhalten wird. Auf einem Schleifsteine glättet man die Schnittfläche und poliert sie schließlich, so daß mit unbewaffnetem Auge keine einzelnen Schleif- oder Feilstriche mehr zu erkennen sind. Für gewöhnliche Untersuchungen, bei denen es sich nur darum handelt, Fehlstellen zu entdecken oder ein allgemeines Bild von der inneren Beschaffenheit des Eisens zu erhalten, genügt es auch, wenn die zu ätzende Fläche mit einer feinen Schlichtfeile glatt gefeilt wird.

Läßt sich das zu prüfende Stück in senkrechter Stellung hängend befestigen, so bringt man am geeignetsten Ätzflüssigkeit in ein Porzellangefäß und läßt die Probe von obenher — mit der zu ätzenden Fläche nach unten — in die Säure eintauchen, ohne daß sie den Boden des Gefäßes berührt; ist es dagegen nicht möglich, sie in dieser Weise zu befestigen, oder soll nur eine bestimmte Stelle auf der größeren Fläche einer Blechtafel, eines Schmiedestückes oder sonstigen Gegenstandes untersucht werden, so umgibt man diese Stelle oder Fläche mit einem Wachsrande und gießt die Säure hinein. Für tiefe Ätzungen ist eine Einwirkung von oft mehreren Stunden erforderlich. Es empfiehlt sich, das Eisenstück während dieser Zeit einige Male aus der Flüssigkeit herauszunehmen, mit Wasser gut abzuspülen und die geätzte Fläche mit einer Zahnbürste von abgelagertem Kohlenstoff und sonstigen ungelöst zurückgebliebenen Körpern zu reinigen; auch ist es notwendig, die Säure zu erneuern, sofern das Aufhören der Gasentwicklung den Beweis liefert, daß sie nicht mehr einwirkt.

Schließlich spült man das Probestück sorgfältig in fließendem Wasser ab, bringt es, sofern seine Größe es gestattet, mit der geätzten Fläche in kochendes Wasser, läßt es so lange darin verweilen, bis auch der nicht im Wasser befindliche Teil heiß geworden ist, und nimmt es heraus, worauf das anhaftende Wasser von dem heißen Eisenstücke in wenigen Augenblicken verdunstet.

Will man die Proben etwa längere Zeit aufbewahren, so empfiehlt es sich, sie vor dem Einbringen in heißes Wasser, aber nach dem Abspülen in kaltem, zunächst in Kalkwasser zu tauchen, und schließlich, nachdem sie aus dem heißen Wasser kommen, sie noch heiß in geschmolzenes, ziemlich stark erhitztes Wachs einige Sekunden einzulegen. Mit reinem Fließpapier wischt man, wenn sie herauskommen, das überschüssige flüssige Wachs ab, und es hinterbleibt dann immer noch eine ausreichend starke Wachsschicht, um sie vor dem Rosten zu schützen, ohne ihrem Aussehen zu schaden.

Der Erfolg der Ätzprobe beruht auf dem Umstande, daß durch die Säure dichtere Stellen des Eisens weniger stark als lockere angegriffen werden, härtere, insbesondere kohlenstoffreichere, weniger stark als weichere, kohlenstoffärmere. Ersterer Umstand erklärt es z. B., daß bei sehnigem Eisen die einzelnen Sehnen oder Fasern, welche vielleicht auf der Bruchfläche gar nicht erkennbar waren, nach dem Ätzen erhaben sich von den übrigen Teilen abheben und dem Auge sich darstellen. Wie früher erörtert wurde, bestehen diese Sehnen aus zusammenhängenden Kristallreihen, welche, ähnlich wie die Strähnen eines Taues, nebeneinander liegen, gegenseitig aber geringeren Zusammenhang besitzen. Zwischen den einzelnen Sehnen also dringt die Säure leichter ein und löst hier das lockere Eisen auf, während die Sehnen selbst langsamer angegriffen werden. Schweißfugen erscheinen als vertiefte Linien auf der geätzten Fläche.

Am wichstigsten aber ist die Verwendung der Ätzprobe zur Erkennung von Fehlstellen (unganzen Stellen) aller Art. Die Fehlstelle besteht in allen Fällen aus einem Spalte, welcher durch unvollständige Schweißung, durch Blau- oder Rotbruch beim Schmieden, durch Entwicklung von Gasen beim Gießen, durch das Schwinden des in die Form eingegossenen erstarrenden Metalls oder durch irgendeine äußere Einwirkung entstanden war. Beim Ätzen dringt die Säure in den Spalt ein, erweitert ihn und macht ihn dem Auge erkennbar.

Da ausgesaigerte Körper (Seite 292 I) in der Regel leichter von Lösungsmitteln angegriffen werden als das Muttermetall, lassen auch die Stellen, wo eine solche Saigerung stattgefunden hatte [1]), nach dem Ätzen sich erkennen.

Auf der geätzten Fläche schlackenhaltigen Schweißeisens erscheinen da, wo Schlackenteilchen sich befunden hatten, Löcher, durch das Herausfallen der Schlacke und Eindringen der Säure gebildet. Sehniges Schweißeisen pflegt schlackenreicher als körniges zu sein, und deshalb werden bei ersterem jene Löcher besonders deutlich bemerkbar. Nach starker Ätzung solchen Eisens findet man auf dem Boden des Gefäßes, in welchem die Arbeit vorgenommen wurde, nicht selten die herausgefallenen Schlackenteilchen.

---

[1]) Der Vorgang der Saigerung (Absonderung einzelner Körper beim Erstarren) macht es begreiflich, daß Saigerungsstellen nur im Flußeisen, nicht im Schweißeisen, gefunden werden können.

Abb. 249 und 250 zeigen das Aussehen der geätzten Querschnitte von Flußstahlschienen dichten und gleichförmigen Gefüges. Abbildung 249 rührt von einer Bessemerschiene mit etwa

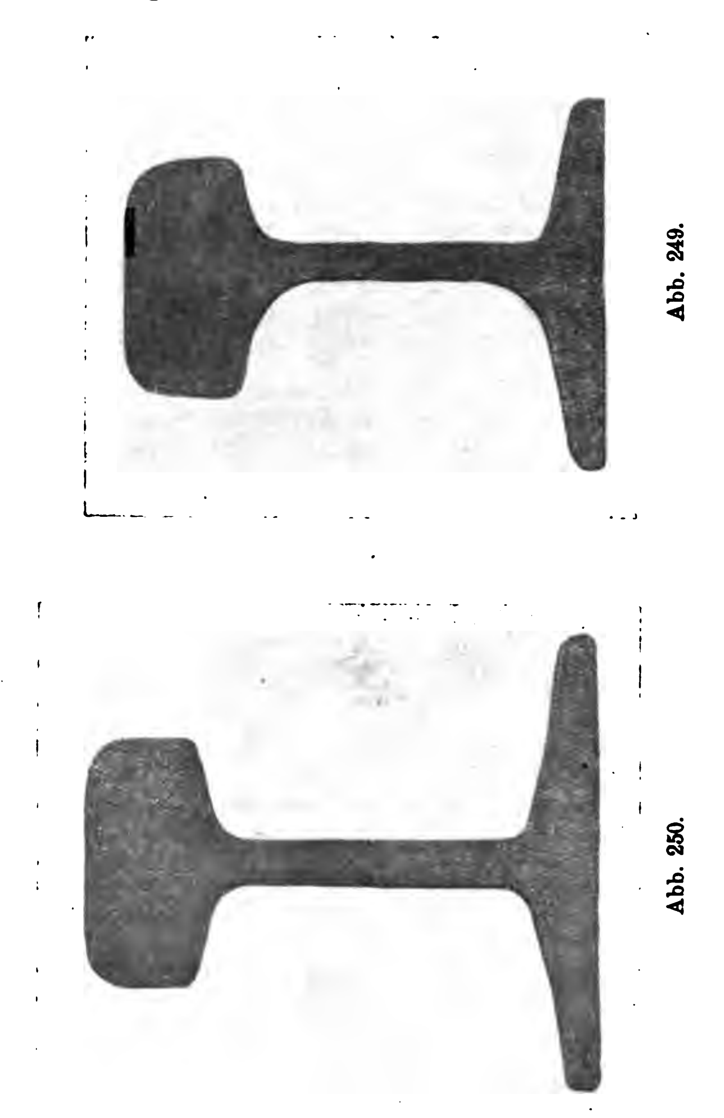


Abb. 249.

Abb. 250.

3 v. H. Nickel her und ergab bei der Untersuchung folgende Resultate:

Nickel . .	3,12 v. H.,	Mangan. .	1,01 v. H.,
Kohlenstoff	0,30 „ „	Phosphor .	0,06 „ „
Silicium .	0,30 „ „	Schwefel .	0,02 „ „

Festigkeit 75,6 kg pro qmm, Dehnung 18,6 v. H. auf 200 mm Versuchslänge gemessen. Abb. 252 rührt von einer guten Thomasstahlschiene mit folgenden Resultaten her:

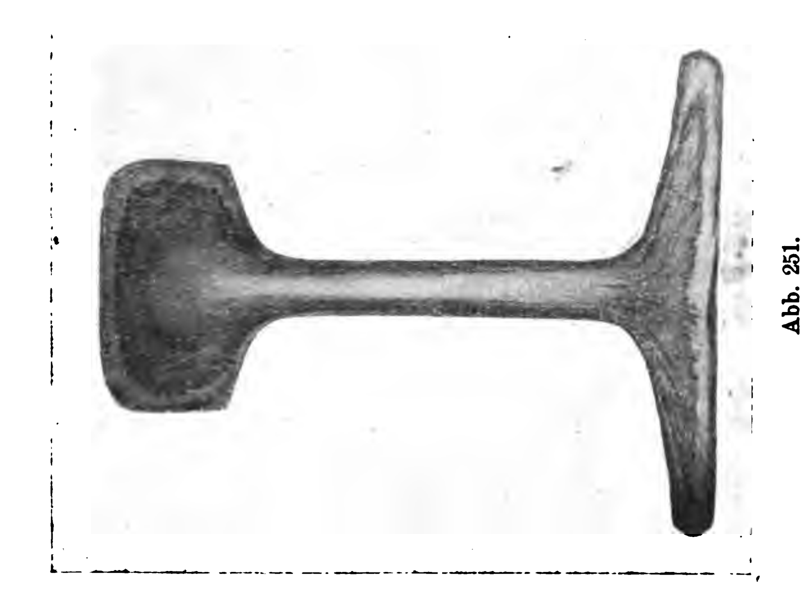


Abb. 251.

Abb. 252

Kohlenstoff	0,85 v. H.,	Phosphor.	0,07 v. H.,
Silicium .	0,20 „ „	Schwefel .	0,08 „ „
Mangan .	0,86 „ „		

Festigkeit 65,6 kg pro qmm, Dehnung 18,7 v. H. auf 200 mm Versuchslänge.

Dem gegenüber zeigen Abb. 251 und 252 geätzte Querschnitte porigen Flußstahls. Diese Schienen werden trotz guter Zusammensetzung und guter Festigkeitsresultate einem rascheren Verschleiß unterworfen sein und keine lange Lebensdauer besitzen. Die Untersuchung ergab folgende Resultate:

	Abb. 251.	Abb. 252.
Kohlenstoff . .	0,29 v. H.,	0,41 v. H.,
Silicium	0,14 „ „	0,10 „ „
Mangan	1,02 „ „	0,81 „ „
Phosphor . . .	0,07 „ „	0,08 „ „
Schwefel . . .	0,04 „ „	0,03 „ „
Festigkeit . . .	65,1 kg	69,4 kg
Dehnung . . .	22 v. H.,	16 v. H.

pro qmm auf 200 mm Versuchslänge.



Abb. 253.

Abb. 253 zeigt den geätzten Querschnitt einer Rillenmaschine aus gleichfalls porigem Thomasstahl. Der Probestab Abb. 254 ist dem Fahrkopf der Schiene entnommen, und zeigt an der vorderen Seite deutlich jene poröse Zone, welche sich durch Querrisse an der Oberfläche kundgibt.

Ähnliche Querrisse können jedoch auch infolge von Saigerungserscheinungen, besonders durch Anreicherung von Phosphor zu sogenannten „Phosphorschnüren“ hervorgerufen werden.

Abb. 255 zeigt eine in früheren Jahrzehnten gefertigte Schweißeisenschiene mit Fuß und Steg aus sehnigem Eisen und dem aus Stahl gefertigten Kopf. Die dunkeln Stellen in Fuß und Steg sind Schlackeneinschlüsse, und auch in dem Kopf gewahrt man deutlich die Schweißfugen, welche bei der Vereinigung mehrerer zuvor ausgereckter Stahlstäbe durch Schweißung zu einem Ganzen entstanden sind.



Abb. 254.



Abb. 255.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

Henry Marion Howe, The Metallurgy of Steel, Band 1. New York 1890.

Knut Styffe, Die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl. Deutsch von C. M. v. Weber. Weimar 1870.

H. Jüptner von Jonstorff, Beziehungen zwischen Zerreißungsfestigkeit und chemischer Zusammensetzung von Eisen und Stahl. Leipzig 1895.

H. Jüptner von Jonstorff, Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und den physikalischen Eigenschaften von Eisen und Stahl. Leipzig 1896.

H. Freiherr von Jüptner, Grundzüge der Siderologie, zweiter Teil. Leipzig 1901.

Fr. Reiser, Das Härten des Stahles in Theorie und Praxis. 3. Auflage. Leipzig 1900.

Otto Thallner, Werkzeugstahl. Freiberg 1898.

A. Martens, Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau. Berlin 1898. (Enthält Mitteilungen über die Festigkeitseigenschaften und die Prüfung des schmiedbaren Eisens.)

b) Abhandlungen.

M. Janoyer, Untersuchungen über die Textur des Schmiedeeisens. Mit Bemerkungen von L. Gruner. Aus den Annales des

mines, Reihe 7, Band 5, in deutscher Übersetzung in der berg- und hüttenm. Ztg. 1853, Seite 53.
B. Braune, Über Gefügeänderungen im Eisen und Stahl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1885, Seite 96.
R. E. Tülff, Über die Abhängigkeit der Struktur der Bruchflächen schmiedeeiserner Stäbe von der Wirkungsweise der zerstörenden Kraft. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, Seite 501; „Stahl und Eisen" 1888, Seite 378.
A. v. Kerpely, Über eine neue Blaubruchprobe für Stahl. Berg- und hüttenm. Ztg. 1878, Seite 405.
J. A. Brinell, Über die Texturveränderungen des Stahles bei Erhitzung und bei Abkühlung. „Stahl und Eisen" 1885, Seite 611.
J. E. Stead, On the crystalline structure of iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898, Seite 145; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1898, Seite 649.
A. Sauveur, The relation between the structure of steel and its thermal and mechanical treatment. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 II, Seite 195.
A. Ledebur, Über die Blaubrüchigkeit des Eisens und Stahles. Glasers Annalen, Band 18, Seite 205.
E. Grosse, Flußeisen oder Schweißeisen? Glasers Annalen, Band 20, Seite 21 (Versuche über Blaubrüchigkeit enthaltend).
Strohmeyer, Über Blaubrüchigkeit. Wochenschrift d. Vereins deutsch. Ingenieure 1883, Seite 369.
A. Kurzwernhart, Über Blauwärme. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 850.
Schmiede- und Walzversuche mit Nickellegierungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1896, Seite 253.
J. Marchal, Étude sur l'influence de l'arsénic sur les propriétés mécaniques de l'acier. Bulletin de la Société d'encouragement 1898, Seite 1336.
J. E. Stead, The effect of arsenic on steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1895 I, Seite 77; „Stahl und Eisen 1895, Seite 653.
J. E. Stead and John Evans, The influence of copper on steel rails and plates. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 59; „Stahl und Eisen" 1901, Seite 853.
W. Lipin, Der Einfluß des Kupfers auf Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 539, 583.
A. Ledebur, Beiträge zur Metallurgie des Eisens (Schweißbarkeit). Glasers Annalen, Band 10, Seite 179.
W. Hupfeld, Untersuchungen über die Schweißbarkeit des Bessemereisens. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1884, Nr. 8; daraus in „Stahl und Eisen" 1884, S. 271.
Fr. Reiser, Beiträge zur Theorie der Schweißbarkeit des Eisens. Glasers Annalen, Band 11, Seite 25.
Dr. Böhme, Bericht der vom Vereine zur Beförderung des Gewerbfleißes berufenen Kommission für die Untersuchung der Schweißbarkeit des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1883, Seite 146.
Bauschinger, Vergleichende Versuche über die Schweißbarkeit des Fluß- und Schweißeisens. Mitteilungen des mechanisch-technischen Laboratoriums der technischen Hochschule in München, Heft 12, Seite 31; daraus in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 89.
Jarolimek, Über das Härten des Stahles. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1876, Seite 69.
R. Åkerman, On hardening iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1879 II, Seite 504.
F. Osmond, Sur les nouveaux procédés de trempe. Bulletin de la Société de l'industrie minérale, Reihe 3, Band 3 (1889), Seite 1045, 1630.
F. Osmond, Les essais de trempe. Rapport présenté à la commission des méthodes d'essai des materiaux de construction. Paris 1892.
A. Le Chatelier, Observations sur la trempe de l'acier. Bulletin de la Société d'encouragement 1895, Seite 1336; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1896, Seite 200.

A. Godeaux, Double trempe de l'acier. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 36, Seite 224; auszugsweise in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 49.

A. Ledebur, Kohlenstofformen und Stahlhärtung. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 436.

A. Ledebur, Der Einfluß des Ablöschens auf reines Eisens. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 668.

O. Thallner, Über die Spannungen im gänzlich gehärteten Stahl. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 935.

O. Thallner, Über Spannungen im gehärteten Stahle größeren Querschnitts. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 318.

Lechner, Beobachtungen bei der Bearbeitung von Eisen und Stahl. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 54.

Brinells Verfahren zur Härtebestimmung nebst einigen Anwendungen desselben. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 382, 465.

Axel Wahlberg, Brinell's method of determining hardness and other properties of iron and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 243; II, Seite 234 (die Abhandlung enthält zahlreiche Versuchsergebnisse über den Einfluß des Härtens und Anlassens auf die Härte und Festigkeitseigenschaften des Flußeisens).

H. Wedding, Härte und Härtung des Werkzeugstahls. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1902, Seite 228.

Versuche mit Platten aus Schweißeisen und aus Flußeisen. „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 137.

L. Tetmajer, Bericht über die vergleichende Wertbestimmung einer Reihe deutscher Normalprofile in Flußeisen und Schweißeisen. Zürich 1885.

Über die zulässige Inanspruchnahme der Eisenkonstruktionen. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 303, 309.

Ergebnisse der Untersuchungen von Kesselblechen aus Flußeisen und Schweißeisen. Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten zu Berlin 1889, Heft 3.

Vergleichende Untersuchungen von Kesselblechen aus Thomas-, Martin- und Schweißeisen. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 526.

L. Tetmajer, Das basische Convertereisen als Baumaterial. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1047.

Mehrtens, Über die beim Bau von Eisenbahnbrücken mit der Verwendung von Flußeisen gemachten Erfahrungen. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 707.

R. Krohn, Verwendung des Flußeisens im Brückenbau. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 804.

A. Martens, Über die Verwendbarkeit des Flußeisens als Konstruktionsmaterial. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1892, Seite 172.

F. Kintzlé, Die Verwendung des Flußeisens zu Bauzwecken. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1892, Seite 81; „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 279.

Prüfungsergebnisse bei Flußeisen verschiedener Herkunft. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 341.

L. Tetmajer, Über das Verhalten der Thomasstahlschienen im Betriebe. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 179.

M. R. Webster, The relations between the chemical constitution and the physical character of steel. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 28, Seite 618; in deutscher Bearbeitung in „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 61.

H. v. Jüptner, Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung des Stahls und seinen mechanischen Eigenschaften. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 939.

J. Riley, On the alloys of nickel and steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1889 I, Seite 45.

L. Vogel, Darstellung und Eigenschaften des Nickelstahles. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1895, Seite 1353; „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 718.

M. Rudeloff, Festigkeit der Eisennickellegierungen. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1898, Seite 327; 1902, Seite 81.

R. A. Hadfield, Alloys of iron and nickel. Procedings of the Institution of Civil Engineers, Band 138, Teil 4.

Brocard, De l'emploi de l'acier au nickel dans les constructions navales. Annales des mines, Reihe 9, Band 20 (1901), Seite 24.

A. Abraham, Étude sur certains aciers spéciaux. Annales des mines, Reihe 9, Band 14 (1898), S. 225.

R. A. Hadfield, On the alloys of iron and silicon. The Journal of the Iron and Steel Institute 1889 II, Seite 222; daraus in „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1000.

A. Wahlberg und E. Heyn, Einfluß des Siliciums auf die Festigkeitseigenschaften des Flußstahls. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 460.

H. Wedding, Der Einfluß des Mangans auf die Festigkeit des Eisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1881, Seite 509; Dinglers polyt. Journal, Band 243, Seite 333.

R. A. Hadfield, On Manganese Steel. The Journal of the Iron and Steel 1888 II, Seite 41.

A. Ledebur, Über Manganstahl. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 504.

R. A. Hadfield, On Aluminium Steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1890 II, Seite 161.

R. A. Hadfield, On the alloys of iron and chromium. The Journal of the Iron and Steel Institute 1892 II, Seite 49; daraus in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 14.

J. Bauschinger, Veränderungen der Elastizitätsgrenze und Festigkeit des Eisens und Stahles durch Strecken und Quetschen, Erwärmen und Abkühlen und oftmals wiederholte Beanspruchung. Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der technischen Hochschule zu München, Heft 13.

Über das Strecken von Eisen und Stahl auf kaltem Wege. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 91, 177.

Festigkeit heiß und kalt bearbeiteten Eisens. Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1889, Seite 92.

A. Sattmann, Über die Veränderungen der Eigenschaften des Flußeisens, welche durch physikalische Ursachen bedingt sind. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 266; 1892, Seite 550.

L. Tetmajer, Einfluß der Lochung auf die Festigkeitsverhältnisse des Schweißeisens. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 173.

Über einige Ergebnisse bei der Prüfung von Augenstäben amerikanischer Eisenbahnbrücken. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 194.

A. Martens, Untersuchungen über den Einfluß des Hitzegrades beim Auswalzen auf die Festigkeitseigenschaften und das Gefüge von Flußeisenschienen. Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten 1896, Seite 89; „Stahl und Eisen" 1897, Seite 51.

M. Rudeloff, Über den Einfluß des Ausglühens auf die physikalischen Eigenschaften von Eisen- und Stahldrähten. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 109.

Untersuchungen über Festigkeitsänderungen durch Ausglühen und Anlassen weichen Stahles. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1887, Seite 51.

J. E. Stead, Brittleness produced in soft steel by annealing. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898 II, Seite 137.

H. Fay and A. Bedlam, The effect of annealing upon low carbon steel. Iron Age, Band 67, 14. März, Seite 7.

C. H. Ridsdale, The correct treatment of steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 53.

A. Ledebur, Über die Beizbrüchigkeit des Eisens. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 681; 1889, S. 745.

Bädecker, Versuche über das Verbeizen von Stahl- und Eisendraht. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1888, Seite 186.

J. Bauschinger, Das Kristallinischwerden und die Festigkeitsverminderung des Eisens durch den Gebrauch. Dinglers polyt. Journal, Band 235, Seite 169.
P. Kreuzpointner, Kristallisieren Eisen und Stahl im Betriebe? Aus Iron Age in „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 474.
P. Kreuzpointner, Die Übermüdung der Metalle. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 865.
O. Hoppe, Alberts Versuche und Erfindungen. (Beiträge zur Frage der Gefügeänderung des Eisens durch wiederholte Erschütterungen.) „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 437, 496.
A. Martens, Über das Verhalten von Eisen und Eisenkonstruktionen im Feuer. „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 76.
Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens. Mitteilungen der Königl. techn. Versuchsanstalten 1890, Seite 159; Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1891, Seite 165; „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 843; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, Seite 440.
M. Rudeloff, Untersuchungen über den Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften von Metallen. Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten 1893, Seite 292.
M. Rudeloff, Einfluß der Wärme auf die Festigkeitseigenschaften des Stahlgusses und getemperten Eisengusses. Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten 1901, Seite 299, 305.
H. Kamps, Der Einfluß des Ausglühens auf die magnetischen Eigenschaften von Flußeisenblechen. „Stahl u. Eisen“ 1899, S. 1120.
Verhalten verschiedener Eisensorten bei abnorm niedriger Temperatur. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 1031.
A. Vavra, Zur Frostbrüchigkeit des weichen Thomaseisens. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1892, Seite 139.
Mehrtens, Kältebiegeversuche mit Flußeisen. „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 196, 220.
Köpke und Hartig, Das Verhalten von Flußeisen in großer Kälte. Zivilingenieur Heft 3; daraus „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 599.
M. Rudeloff, Untersuchungen über den Einfluß der Kälte auf die Festigkeitseigenschaften von Eisen und Stahl. Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalten 1895, Seite 197; „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 15.
A. Ledebur, Der Einfluß der Temperatur auf die Festigkeitseigenschaften der Metalle, insbesondere des Eisens. Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Seite 565.
A. Le Chatelier, Rapport sur l'influence de la température sur les propriétés mécaniques des métaux. Les méthodes d'essai des matériaux de construction. Publication du ministère des traveaux publics, Band 2, Paris 1892.
A. Ledebur, Das Verbrennen des Eisens und Stahles. Jahrbuch für Berg- und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen auf das Jahr 1883, Seite 19.
Ch. Frémont, Étude expérimental des causes de la fragilité de l'acier. Bulletin de la Société d'encouragement 1901, Seite 254.
Arthur Wingham, The internal strains of iron and steel and their bearing upon fracture. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 272.
A. Ledebur, Altes und Neues vom Eisen (mit Abbildungen von Ätzproben). „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 143.
A. Ledebur, Über fehlerhafte Stellen in Zerreißproben aus Flußeisen. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 13.
J. Bauschinger, Über Einrichtungen und Ziele von Prüfungsanstalten für Baumaterialien, insbesondere für Eisen und Stahl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1879, Seite 50.
M. Rudeloff, Über Festigkeitsprobiermaschinen. „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 809; 1891, Seite 467. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingeniure 1891, Seite 1374.
M. Rudeloff, Prüfung von Eisen und Stahl an eingekerbten Stücken. „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 374.

O. Thallner, Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1907, Nr. 7.

E. Heyn, On the overheating of mild steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1902 II, Seite 73.

W. Campbell, On the heat treatment of steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903 II, Seite 359.

Über den Einfluß des Schwefels. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903 I, Seite 136.

O. Böhler, Über Wolfram und Rapidstahl, Doktordissertation. Berlin 1903; vergl. auch „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 768.

H. Le Chatelier, Les aciers rapides à outils. Bulletins de la Societé d'encouragement, Band 106, Seite 334.

F. Osmond, Contribution à la théorie des aciers rapides. Bulletin de la Societé d'encouragement, Band 106, Seite 348.

J. H. Pratt, Stahl härtende Metalle. Bulletin of the Americ. Iron and Steel Association vom 10. Dezember 1904, in „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 114.

J. M. Gledhill, The development and use of high-speed tool steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904 II, Seite 127.

H. Le Chatelier, Les aciers spéciaux industriels. Revue de métallurgie 1904, Seite 572.

H. C. H. Carpenter, The types of structures and the critical ranges on heating and cooling of high-speed tool steels under varying thermal treatment. The Journal of the Iron and Steel Institute 1905 I, Seite 433.

O. Bauer, Wärmebehandlung von Stahl in großen Massen. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 1244.

Die Spezialstähle. Metallurgie 1906, Seite 137, 186.

Die Härte der Gefügebestandteile des Eisens. „Stahl und Eisen“ 1907, Seite 749.

Festigkeit nach dem Ablöschen bei verschiedener Temperatur. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 443.

Einfluß des Phosphorgehalts. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 633, Tabelle VII.

Hadfields Untersuchungen über Wolframstahl. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1309.

Die elektrische Leitungsfähigkeit von Stahl. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 371.

C. Benedicks, Der elektrische Leitungswiderstand des Stahls und reinen Eisens. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 935.

C. Trowbridge, Über die magnetischen Eigenschaften von Eisen und Stahl bei tiefen Temperaturen. „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 330; 1903, Seite 150.

R. A. Hadfield, Experiments relating to the effect on mechanical and other properties of iron and its alloys produced by liquid air temperatures. The Journal of the Iron and Steel Institute, 1905 I, Seite 147.

E. Heyn, Einiges aus der metallographischen Praxis. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 8.

Iron-Nickel-Manganese-Carbon Alloys Aus The Engineer, Nov. 1905 in The Iron and Steel Magazine 1906 XI, Seite 100.

Ernst Rolf, Aus der Praxis der Eisenzieherei und Kaltwalzerei. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 334.

A. E. Seaton und A. Jude, Schlagversuche mit Flußeisen und Stahl. Aus Engineering in Dinglers polyt. Journ. 321, Seite 138.

O. Bauer, Über den Einfluß der Reihenfolge von Zusätzen zum Flußeisen auf die Widerstandsfähigkeit gegen verdünnte Schwefelsäure. Mitteilungen des Kgl. Materialprüfungsamts Groß-Lichterfelde 1905, Seite 292.

Dr. O. Meyer, Versuche betreffend die Klarlegung des Einflusses, welchen die Querschnittsform der Probestäbe auf die Ergebnisse von Zugversuchen ausübt, nebst Betrachtungen über die Ungleichförmigkeit der Materialien. Baumaterialienkunde 1905, Heft 22 und 23.

J. E. Stead und A. W. Richards, On the restoration of dangerously crystalline steel by heat-treatment. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 119.
A. Stansfield, On the burning and overheating of Steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903 II, Seite 443.
E. Heyn, Krankheitserscheinungen im Eisen und Kupfer. Zeitschr. deutscher Ingenieure 1902, Seite 115. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1227.
L. Dumas, Recherches sur les aciers au nickel à hautes teneurs. Annales des mines, April-Juni 1902.
F. R. Eichhoff, Weiches und hartes Flußeisen als Konstruktionsmaterial. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 489, 593.
A. Campion, On the heat treatment .... s. Schmiedbarkeit.
C. Bach, Untersuchungen über die Festigkeitseigenschaften von Stahlguß bei gewöhnlicher und höherer Temperatur. Zeitschrift deutscher Ingenieure 1903, Seite 1762; 1904, Seite 385, auch „Stahl und Eisen" 1904, Seite 424.
L. Guillet, Acier au manganèse. Bulletin de la Société d'encouragement, Band 105 (1903), Seite 241, deutsch bearbeitet in „Stahl und Eisen" 1904, Seite 281.
J. E. Stead and A. W. Richards, On sorbitic steel rails. Revue de métallurgie memoires. Supplément du bulletin de la Société d'encouragement 1904, S. 46.
F. Osmond, Ch. Fremont et S. Chartaud, Les modes de déformation et de rupture des fers et des aciers doux. Revue de métallurgie memoires. Supplément du bulletin de la Société d'encouragement 1904, Seite 46, 198.
C. Bach, Versuche über die Festigkeitseigenschaften von Flußeisenblechen bei gewöhnlicher und höherer Temperatur. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1904, Seite 1300, 1342.
Rial Sankey and Kent Smith, Heat treatment experiments with chrome-vanadium steel. Of the Inst. of Mechanical Engineers 1904.
L. Guillet, Les aciers au vanadium. Revue de métallurgie 1904 II, Seite 525.
L. Guillet, Les aciers au titane. Revue de métallurgie 1904, Seite 506.
H. H. Campbell, On the influence of carbon, phosphorus, manganese and sulphur on the tensive strength of open hearth steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904 II, Seite 21.
Über den Einfluß von Kohlenstoff, Phosphor, Mangan und Schwefel auf die Bruchfestigkeit des Martinstahls. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 82, 337, 402.
Sir James Dewar and R. A. Hadfield, The effect of liquid air temperature on the mechanical and other properties of iron and its alloys. Proceedings of the Royal Society, Band 74, Seite 326.
J. Divis, Förderseildraht aus Nickelstahl. Österreichische Zeitschrift 1905, Seite 41 und 59.

II. Die Maschinen für die mechanische Veredelung und Formgebung.

1. Erläuterungen.

Das aus dem Erzeugungsverfahren hervorgehende schmiedbare Eisen bedarf in der Regel, um als Handelsware dienen zu können, einer mechanischen Bearbeitung, sowohl zum Zwecke seiner Veredelung als einer betimmten Formgebung.

Alles Schweißeisen ist nach seiner Entstehung reichlich von Schlacke durchsetzt, und, sofern man nicht etwa durch ein

Schmelzverfahren das Schweißeisen in Flußeisen umwandelt, läßt sich dieser Schlackengehalt nur verringern, indem man das Eisen in seiner Temperatur, in welcher es sehr weich, schweißwarm, die eingeschlossene Schlacke aber flüssig ist, einem starken Drucke oder öfter wiederholten Schlägen unterwirft, unter deren Einwirkung die Schlacke ausfließt. Flußeisen enthält gewöhnlich Hohlräume im Innern, teils durch entwickelte Gase erzeugt, teils bei der Schwindung entstanden, welche bei der Bearbeitung zusammengedrückt werden und alsdann das Verhalten des Eisens minder nachteilig beeinflussen als zuvor[1]). Daß auch die mechanische Bearbeitung an und für sich im Vereine mit der vorausgehenden Erhitzung befähigt ist, die Festigkeitseigenschaften des Eisens günstig zu beeinflussen, ergibt sich aus den Mitteilungen des vorigen Abschnitts.

Diese Bearbeitung des Eisens zum Zwecke seiner Veredelung ist notwendigerweise mit einer Formveränderung verbunden. Man leitet daher die Bearbeitung in solcher Weise, daß die Endform des Erzeugnisses zugleich seiner ins Auge gefaßten späteren Verwendung entspricht und es befähigt, als Handelsware zu dienen (Stabeisen von bestimmten Querschnitten, Bleche u. a.).

Eine Bearbeitung des dargestellten Eisens zu dem besprochenen Zwecke durch Handarbeit — etwa durch Ausschmieden mit dem Handhammer — würde nur dann die Erreichung eines Erfolges ermöglichen, wenn das zu bearbeitende Eisenstück klein und der Umfang der Eisenerzeugung einer Anlage sehr beschränkt wäre. Handarbeit für die Verdichtung und Formgebung finden wir deshalb in den Anfängen der Eisendarstellung im Altertum bei allen eisenerzeugenden Völkern und noch jetzt in entlegenen Gegenden bei Naturvölkern. Bei allen Kulturvölkern dagegen ist sie längst durch Maschinenarbeit ersetzt, und der jetzige Eisenhüttenbetrieb verdankt zum nicht geringen Teile seine gewaltigen Leistungen der vervollkommneten Einrichtung der für die Veredelung und Formgebung des schmiedbaren Eisens benutzten Maschinen.

2. Die Hämmer.

a) Allgemeine Einrichtung.

Unter allen formgebenden Geräten bei der Darstellung schmiedbaren Eisens sind die Hämmer die ältesten. Aus dem mit der Hand geschwungenen Steine (Abb. 30 auf Seite 142 I) entstand der bei Kulturvölkern seit Jahrtausenden benutzte, von Hand geführte Schmiedehammer, und aus diesem entwickelte sich, nachdem die Anwendung der Wasserkraft im Hüttenwesen Eingang gefunden hatte, die ältere Form des Maschinenhammers, dessen

[1]) Eine vollständige Beseitigung der Hohlräume durch Zusammenschweißen ist durch die Bearbeitung nicht zu erreichen. Ihre Wände legen sich zwar dicht aufeinander, und auf der Bruchfläche des bearbeiteten Eisenstückes ist ihre Anwesenheit ohne weiteres nicht mehr erkennbar, aber bei der Ätzprobe werden sie, wie die Abbildungen 251 und 252 zeigen, aufs neue sichtbar, ein Beweis, daß immerhin auch bei der mechanischen Bearbeitung eine unganze Stelle zurückgeblieben war.

Stiel, an dem hinteren Ende um Zapfen schwingend, durch Hebedaumen emporgehoben wird.

Die Wirkung des Hammers bei der Verdichtung und Formgebung des schmiedbaren Eisens beruht auf der Ausübung zahlreicher, rasch aufeinander folgender Schläge. Ein Schlag unterscheidet sich vom Drucke durch seine große Endgeschwindigkeit, auf welcher zum nicht geringen Teile seine Wirkung beruht. Die theoretische Wirkung eines Schlages läßt sich, wenn M die Masse[1]) des niederfallenden Hammers, v seine Endgeschwindigkeit bezeichnet, durch die Formel $\frac{Mv^2}{2}$ ausdrücken. Irrig würde es jedoch sein, hieraus zu folgern, daß für eine vorgeschriebene Leistung des Hammers es gleichgültig sein müsse, ob das Gewicht des Hammers groß und die Endgeschwindigkeit klein sei oder umgekehrt, sofern nur die Größe $\frac{Mv^2}{2}$ das erforderliche Maß erreichte. Mit der Größe des zu bearbeitenden Eisenstückes und mit seiner Härte muß auch das Gewicht des für die Bearbeitung bestimmten Hammers zunehmen.

Verschiedene Umstände liefern die Erklärung hierfür.

Zunächst kommt in Betracht, daß die Endgeschwindigkeit v sich überhaupt nicht gut über ein gewisses Maß steigern läßt ohne Gefahr für die Haltbarkeit der bewegten Teile. Hieraus folgt von vornherein die Notwendigkeit, für die Erzeugung jener stärkeren Schlagwirkungen, welche die Bearbeitung schwerer Eisenstücke erheischt, auch schwere Hämmer zur Anwendung zu bringen.

Je größer aber die Geschwindigkeit eines ausgeübten Schlages ist, je kürzer also die Spanne Zeit, innerhalb deren die Einwirkung überhaupt stattfindet, desto weniger Zeit finden die zunächst getroffenen Teilchen am Umfange des Arbeitsstückes, jene Einwirkung fortzupflanzen, desto weniger werden die inneren Teile davon betroffen. Der Erfolg eines Schlages von bestimmter theoretischer Schlagwirkung beschränkt sich demnach um so mehr auf die Erzielung einer äußeren Formveränderung und beeinflußt um so weniger die inneren Teile, je größer seine Endgeschwindigkeit ist. Soll daher eine Veredelung eines Eisenstückes in der oben angegebenen Weise (Auspressen von Schlacke, Verdichtung von Hohlräumen) durch Schmieden stattfinden, so muß nicht allein die Schlagwirkung an und für sich, sondern auch das Gewicht des Hammers im Verhältnisse zu der Größe des Arbeitsstückes stehen.

Diese Umstände erklären es, daß das Gewicht der im Eisenhüttenbetriebe benutzten Hämmer immer mehr gesteigert wurde, je mehr die Abmessungen der Eisenblöcke zunahmen, welche durch sie bearbeitet werden sollten, und daß die schwersten Hämmer, welche überhaupt gebaut wurden, für die Bearbeitung des Flußeisens und Flußstahls bestimmt sind, welches in erheblich größeren Blöcken als Schweißeisen zur Verarbeitung gelangt und auch in der Schmiedetemperatur härter als dieses ist.

---

[1]) Masse $= \frac{\text{Gewicht}}{\text{Fallbeschleunigung}} = \frac{G}{g}$.

Jeder Hammer wird durch den Amboß ergänzt, welcher als Unterlage für das in Verarbeitung befindliche Schmiedestück dient.

Die beiden einander zugekehrten Flächen des Hammers und Amboß, von denen das Schmiedestück berührt wird, nennt man die Hammer- und Amboßbahn.

Der Amboß, welcher sich ohne Schwierigkeit auswechseln lassen muß, ruht auf dem Hammerstocke oder der Schabotte, dazu bestimmt, die überschüssig geleistete, d. h. nicht zu einer Formveränderung des Arbeitsstückes verbrauchte Schlagwirkung aufzunehmen und dadurch beträchtliche Erschütterungen der Umgebung des Hammers zu vermeiden. Es ist leicht zu ermessen, daß dieser Zweck um so vollständiger erfüllt wird, je größer das Gewicht dieser Unterlage des Ambosses ist. Allen größeren Hämmern gibt man daher gußeiserne Schabotten, deren Gewicht mit dem Gewichte des Hammers zunimmt und oft ins Ungeheure steigt. v. Hauer gibt für die Bemessung dieses Schabottengewichtes (insbesondere bei Dampfhämmern) die Formel:

$$\text{für weiches Eisen } Q = 2\,G\,\frac{v^2}{g} \text{ bis } 2{,}5\,G\,\frac{v^2}{g},$$

$$\text{für Stahl . . . } Q = 3\,G\,\frac{v^2}{g} \text{ bis } 4\,G\,\frac{v^2}{g},$$

worin Q das Schabottengewicht in Kilogrammen,
worin G das Hammergewicht in Kilogrammen,
worin v die Endgeschwindigkeit in Metern,
worin g die Fallbeschleunigung (9,819 m) bezeichnet.

Für den Guß der Schabotten zu schweren Hämmern, welche, sofern es angeht, in einem einzigen oder doch in wenigen größeren Stücken gegossen werden, ist gewöhnlich die Aufstellung besonderer Schmelzöfen an Ort und Stelle erforderlich, da eine Beförderung dieser Ungeheuer nicht möglich sein würde. Die Art und Weise der Anordnung der Schabotte ergibt sich aus der unten in Abb. 259 gegebenen Darstellung einer größern Hammerhütte.

Durch Anbringung einer elastischen Unterlage aus Holz für die Schabotte erleichtert man die Erreichung des bei ihrer Anordnung angestrebten Zieles, die Vermeidung starker Erschütterungen.

Minder schwere Hämmer (Stielhämmer) erhalten statt der gußeisernen Schabotte nur einen senkrecht in den Erdboden eingelassenen Holzstamm, den Hammerstock, als Unterlage für den Amboß.

Der Betrieb der in den Eisenhütten gebräuchlichen Hämmer pflegt durch unmittelbare Übertragung von einem Wasserrade (Wasserhämmer oder Stielhämmer) oder einer Dampfmaschine aus (Dampfhämmer) zu geschehen. Kleinere Hämmer, welche von einer Vorgelegewelle aus durch irgendeine Zwischenvorrichtung angetrieben werden (Fallwerke, Reibungshämmer u. a.) finden zwar vielfache Anwendung für die Verarbeitung der Metalle zu kleineren Gebrauchsgegenständen, können aber hier außer Betracht kommen, da sie für die Erzeugung des Handelseisens ohne Belang sind.

b) Die Stielhämmer.

Diese den Handhämmern nachgebildeten Hämmer bestehen, wie jene, aus einem hölzernen Stiel, der Helm oder das Helf genannt, mit eisernem, gewöhnlich schmiedeeisernem, Kopfe. Der Helm steckt an seinem hinteren Ende in einer eisernen Hülse mit wagerechten Zapfen, welche in Lagern ruhen; durch Daumen auf einer umlaufenden Welle, in der Regel der Wasserradwelle, wird der Helm samt dem Hammerkopfe emporgeworfen, und durch sein eigenes Gewicht fällt er wieder nieder.

Bei dem Anheben durch den Daumen wird nun aber in dem Hammer lebendige Kraft erzeugt, vermöge deren er noch weiter emporsteigt, nachdem der Angriff des Daumens bereits aufgehört hat; die lebendige Kraft und somit auch die Höhe, zu welcher der Hammer emporgeworfen wird, wächst mit der Anfangsgeschwindigkeit, d. h. mit der Geschwindigkeit der angreifenden Daumen. Zur Hervorbringung starker Schläge ist mithin eine große Umlaufsgeschwindigkeit der Daumentrommel erforderlich; je schwächer die Schläge werden sollen, desto langsamer müssen die Daumen sich bewegen. Mit zunehmender Geschwindigkeit der Daumen verkürzt sich aber die Zeitdauer, während welcher ein neuer Daumen in die Angriffsstellung einrückt; geschieht dieses früher, als der Hammer wieder niedergefallen ist, so wird er von dem nachfolgenden Daumen gefangen, und der Schlag findet überhaupt nicht statt. Durch Verringerung der Daumenzahl würde zwar dieser Übelstand sich beseitigen lassen, aber die Zahl der in gegebener Zeit erfolgenden Schläge würde dadurch in demselben Verhältnisse sich verringern.

Läßt man jedoch den Hammer nicht bis zu seiner vollen, der Anfangsgeschwindigkeit entsprechenden Hubhöhe aufsteigen, sondern bald nachdem der Daumen ihn verlassen hat, gegen einen elastischen Körper schlagen, welcher ihn in die Anfangsstellung zurückwirft, so fällt er mit annähernd der gleichen Endgeschwindigkeit nieder und erzeugt einen gleich kräftigen Schlag, als wenn er frei aufgestiegen wäre; aber die Zeitdauer des Hubes ist entsprechend abgekürzt, und man erhält auf diese Weise die Möglichkeit, auch zahlreiche kräftige Schläge auszuführen. Diese Vorrichtung zur Unterbrechung des Hubes bei raschem Gange des Hammers nennt man die Prellung oder den Reitel. Aus je elastischerem Stoffe sie gefertigt wurde, desto vollständiger erfüllt sie ihren Zweck; man benutzt elastisches Holz dafür.

Die Stelle, an welcher die umlaufenden Daumen den Hammerhelm erfassen, ist verschieden, und man unterscheidet hiernach verschiedene Arten dieser Hämmer.

Liegt die Daumenwelle parallel zum Hammerhelm, so daß die Daumen in einer rechtwinklig gegen die Richtung des Helms stehenden Ebene sich bewegen und zwischen dem Kopfe und den Zapfen des Helms diesen ergreifen, so heißt der Hammer Aufwerfhammer. Er bildet vermutlich die älteste Form der durch

Wasserkraft betriebenen Stielhämmer[1]) und ist auch heute noch in gebirgigen Gegenden in Benutzung.

Ein in den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts gebauter Aufwerfhammer ist in Abb. 256 dargestellt[2]). Wesentliche Änderungen hat seit jener Zeit die Einrichtung der Aufwerfhämmer nicht erfahren.

B ist der Hammerkopf, durch Holzkeile an dem Helme *A* befestigt. Das hintere Ende des Helmes steckt in der Hülse *D*; diese ruht mit ihren Zapfen in Büchsen, d. i. Lagern, welche

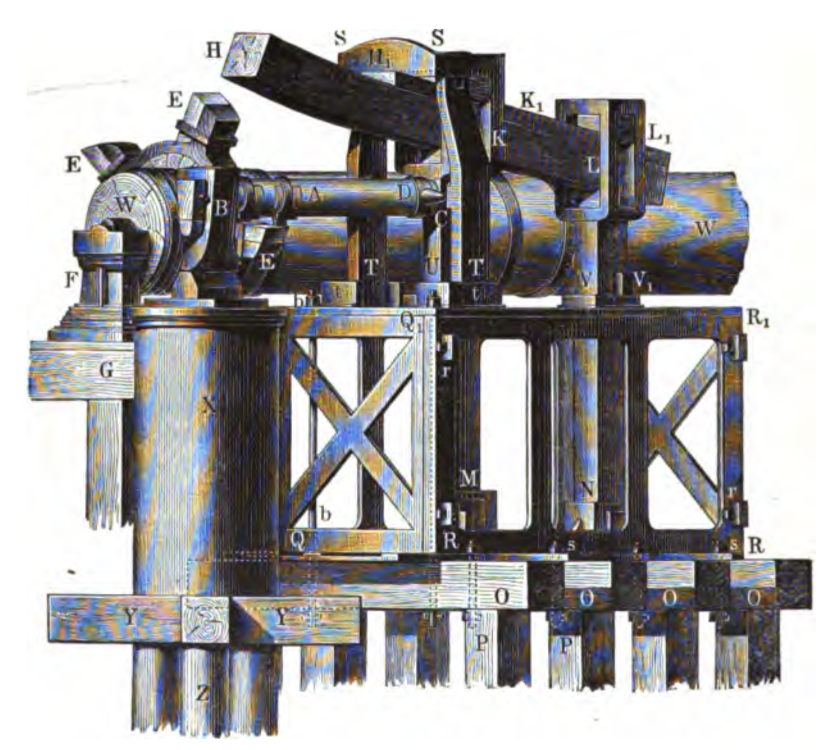


Abb. 256.

in den Büchsensäulen *TT* befestigt sind. Die Daumenwelle *W* des abgebildeten Hammers ist aus Holz gefertigt und dient zugleich als Wasserradwelle. Der gußeiserne Ring mit den Daumen *EE* wird mit Keilen auf der Welle an der Stelle befestigt, wo der Angriff erfolgen soll, und der Hammerhelm wird da, wo er von den Daumen erfaßt wird, durch ein umgelegtes eisernes Band vor rascher Abnutzung geschützt. Die gußeisernen Daumen aber versieht man an derjenigen Seite, mit welcher sie den Hammerhelm

---

[1]) Abbildungen von Aufwerfhämmern aus dem 16. Jahrhunderte: Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 2, Seite 147, 479; aus dem Anfange des 19. Jahrhunderts: in demselben Werke, Band 4, Seite 138.

[2]) Nach J. Weisbach, Ingenieur- und Maschinen-Mechanik.

berühren, zum ferneren Schutze des letzteren mit einem angelegten Holzstücke (F r o s c h genannt), welches durch ein übergeschobenes Schmiedeeisenband mit dem Daumen verbunden wird.

Als Prellvorrichtung dient der aus elastischem Holze gefertigte R e i t e l *H*. Er ist in der Mitte in der R e i t e l s ä u l e *K*, am Ende in der H i n t e r s ä u l e *L* befestigt und ragt mit dem vorderen Ende, gegen welches der Hammerhelm schlägt, frei aus der Reitelsäule heraus.

Damit nicht das Ganze durch die starken Erschütterungen, welche der Reitel zu erleiden hat, seinen Zusammenhalt verliere, ist eine sorgfältige Unterstützung aller Teile erforderlich. Ein aus durchbrochenen Gußeisenplatten gebildeter, mit Erdreich gefüllter Kasten QRQ_1R_1, welcher auf einer Holzunterlage *OP* ruht, dient als Unterbau; die Reitelsäule und die Hintersäule, welche durch die Erschütterungen der Hammerschläge vorzugsweise beansprucht

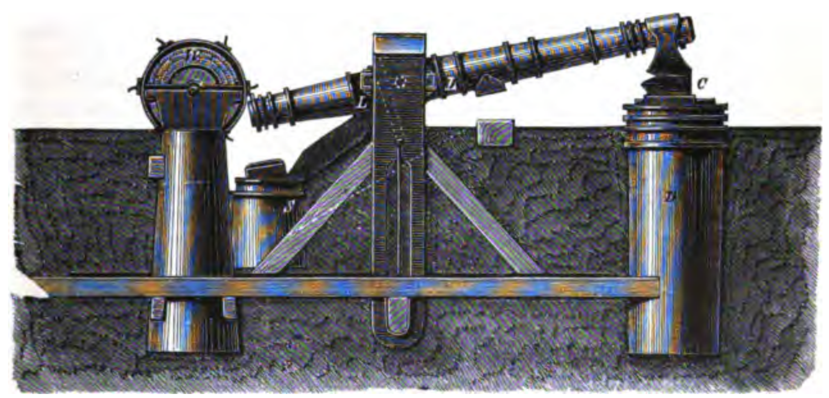


Abb. 257.

werden, gehen durch die Deckplatte des Kastens hindurch und sind in der Sohlplatte bei *M* und *N* verkeilt; die Büchsensäulen stehen in Schuhen *t*, welche auf der Deckplatte angegossen sind, und werden am oberen Ende durch eine Kopfplatte *S* zusammengehalten, welche an die Reitelsäule angegossen ist.

Der gußeiserne oder aus Stahl gegossene Amboß ist, unabhängig von dem Hammerwerke, in einem eichenen Hammerstocke *X* befestigt, welcher unten auf hölzernen Schwellen *YZ* aufruht.

Die Aufwerfhämmer werden mit einem Gewichte des Hammerkopfes von 150 bis 500 kg bei 0,5 bis 0,8 m Hubhöhe und 80 bis 150 Schlägen in der Minute gebaut.

Häufiger als diese Aufwerfhämmer kommen in der Jetztzeit S c h w a n z h ä m m e r zur Benutzung, bei welchen die Daumenwelle hinter dem Hammerhelme liegt, und die Daumen an einer über die Zapfen hinaus sich erstreckenden Verlängerung des Helms, dem Schwanze, angreifen, diesen niederdrückend, so daß der am andern Ende des Helms befindliche Kopf hierbei emporsteigt.

In Abb. 257 ist die in Eisenwerken seit früheren Jahrhunderten übliche Anordnung eines Schwanzhammers dargestellt. *W* ist die

Daumentrommel, *L* der durch umgelegte Eisenbänder verstärkte Helm des Hammers, *C* der Amboß auf dem in gleicher Weise wie beim Aufwerfhammer eingerichteten Hammerstocke *D*. Als Prellung dient der hölzerne Reitel- oder Prellstock *S*, mit einem amboßartigen eisernen Aufsatze versehen, auf welchen das Ende des Hammerhelms aufschlägt.

In seiner äußeren Form dem Aufwerfhammer ähnlich, besitzt der Schwanzhammer vor diesem verschiedene Vorzüge. Durch die Verlegung der Prellung in den Erdboden ist die Einrichtung des Hammergerüstes vereinfacht. Sie beschränkt sich auf die Anordnung zweier hölzerner oder eiserner Büchsensäulen, welche oben und unten verbunden sind und von Längshölzern getragen werden, die auch den Prellklotz stützen. Die Lage der Daumenwelle hinter dem Hammer gewährt die Möglichkeit, ihr einen kleineren Durchmesser als beim Aufwerfhammer zu geben, bei welchem die Anordnung der einen Büchsensäule zwischen Daumenwelle und Hammerhelm immerhin für den Durchmesser des Daumenkreises maßgebend bleibt. Je kleiner aber der Daumenkreis ist, desto weniger lange bleiben die Daumen mit dem ergriffenen Hammerhelm in Berührung, desto geringer kann demnach der wirkliche Hub sein, und desto zahlreichere Hübe kann der Hammer in bestimmter Zeit ausführen. Endlich kommt in Betracht, daß der Raum an der einen Seite des Hammers nicht, wie beim Aufwerfhammer, durch die Daumenwelle in Anspruch genommen ist, und der Amboß demnach von drei Seiten zugänglich ist.

Diese Vorzüge des Schwanzhammers, insbesondere die große erreichbare Hubzahl und die Leichtzugänglichkeit, machen es im Vereine mit der verhältnismäßigen Billigkeit der Anlage erklärlich, daß man in Werkstätten für die Verarbeitung des Eisens, selbst da, wo Dampf als Betriebskraft dient, mitunter einen kleinen Schwanzhammer an Stelle kostspieligerer Einrichtungen verwendet, welchen man unmittelbar von der Dampfmaschine oder auch von einer Vorgelegewelle aus antreiben läßt[1]).

Je nachdem der Schwanzhammer vorwiegend zum raschen Ausschmieden kleinerer Eisengegenstände oder für die erste Bearbeitung gröberer Stücke bestimmt ist, gibt man ihm ein Gewicht von 50 bis 350 kg; den kleinsten eine Hubzahl, welche bis zu 300 in der Minute gesteigert werden kann bei einer Hubhöhe von mitunter nicht mehr als 150 mm; den größeren eine Hubzahl bis zu 120 in der Minute bei einer Hubhöhe bis zu 480 mm.

Die Aufwerf- und Schwanzhämmer bildeten bis in die fünfziger Jahre des 19. Jahrhunderts hinein die wichtigsten Hammerformen der Eisenwerke. In Gegenden, wo Wasserkraft vorhanden ist, finden sie auch heute noch sowohl für die erste Verdichtung von Schweißeisenluppen als auch zum Ausstrecken des Eisens Benutzung; auch in Stahlhütten, welche Werkzeugstahl darstellen,

[1]) Abbildung eines neueren, mit verschiedenen Verbesserungen versehenen und zum Ausschmieden von Stahlwaren bestimmten Schwanzhammers: Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886, Seite 544; auch Ledebur, Mechanisch-metallurgische Technologie, 3. Aufl., Braunschweig 1897, Seite 275.

werden sie mit Vorliebe zum Ausstrecken des Stahls benutzt, wobei man auf die elastische Schlagwirkung Wert legt, welche der hölzerne Hammerhelm vermittelt. Für große Leistungen sind sie jedoch nicht geeignet, denn ihre Haltbarkeit würde rasch Einbuße erleiden, wenn man ihr Gewicht über das angegebene Maß hinaus steigern wollte, und einen bei ihrer Benutzung oft fühlbar werdenden Nachteil bildet der Umstand, daß ihrer geschilderten Wirkungsweise gemäß starke Schläge nur bei raschem Gange (großer Geschwindigkeit der Daumen), schwache Schläge nur bei langsamem Gange sich erzielen lassen. Häufig ist gerade das entgegengesetzte Verhältnis wünschenswert.

Eine dritte Art dieser Stielhämmer, Stirnhämmer genannt, kam im vorigen Jahrhunderte in Großbritannien auf und wurde auch auf Eisenwerken des Festlandes, welche mit Wasserkraft versehen waren, während des 19. Jahrhunderts mitunter für die erste Verdichtung (Schlackenausscheidung) von Schweißeisenluppen verwendet. Der Hammerhelm bestand bei diesen Hämmern, wenn sie dem letztern Zwecke dienen sollten, gewöhnlich nicht aus Holz, sondern war mit dem Kopfe in einem Stücke gegossen; die Daumen erfaßten den Kopf an seiner Stirnseite. Die Stirnhämmer haben sich nicht besonders bewährt und sind jetzt nur noch höchst selten oder gar nicht mehr im Gebrauch[1]).

c) Dampfhämmer.

Die nach unten gerichtete Kolbenstange eines senkrecht stehenden, in entsprechender Höhe auf eisernem Gerüste befestigten Dampfzylinders trägt an ihrem untern Ende ein Fallstück, der Bär genannt, welches zwischen Parallelführungen bewegt wird. Die unten gegebene Abbildung eines Dampfhammers veranschaulicht diese Anordnung.

Schon James Watt, der Erfinder der Dampfmaschine, nahm im Jahre 1784 ein Patent auf die Einrichtung eines Dampfhammers, aber er erlebte nicht die Ausführung seines Entwurfes. Das Bedürfnis für die Benutzung der Dampfkraft zum Schmieden lag noch nicht vor. Der Bedarf an schmiedbarem Eisen überhaupt war im Vergleiche zu dem Bedarfe der Jetztzeit nicht bedeutend; Schmiedestücke von größeren Abmessungen, wie sie der Maschinenbau der Jetztzeit verlangt, waren selten erforderlich. Die schon seit lange benutzten Wasserhämmer genügten allen Ansprüchen der damaligen Zeit, waren billiger in der Anlage und erforderten nicht den Brennstoffaufwand zur Erzeugung des Dampfes.

Erst sechzig Jahre später, im Jahre 1842, wurden ziemlich gleichzeitig auf zwei weit voneinander entlegenen Eisenwerken, dem Eisenwerke Creusot in Frankreich und der Königin-Marienhütte in Sachsen, die ersten beiden Dampfhämmer gebaut, beide nach einem Entwurfe des Ingenieur Nasmyth zu Patricoft bei

---

[1]) Abbildung eines Stirnhammers aus dem 19. Jahrhunderte: Ludwig Beck, Geschichte des Eisens, Band 4, Seite 260; B. Kerl, Grundriß der Eisenhüttenkunde, Seite 314; auch in der 2. Aufl. dieses Handbuchs, Seite 714.

Manchester[1]). Inzwischen aber hatte die Lage des Eisenhüttengewerbes sich wesentlich geändert. Der Bedarf an schmiedbarem Eisen war seit Einführung der Eisenbahnen mächtig gestiegen, die Eisenwerke waren bedeutend vergrößert worden, und die Dampfkraft war mehr und mehr an die Stelle der früher ausschließlich benutzten Wasserkraft für den Betrieb der erforderlichen Maschinen getreten. Der rasch aufblühende Maschinenbau aber stellte auch hinsichtlich der Größe der aus den Eisenwerken hervorgehenden Schmiedestücke Ansprüche, die nur durch kräftiger wirkende Hämmer als bisher erfüllt werden konnten. So breitete sich die Anwendung der Dampfhämmer rasch aus, und jedes neue Jahrzehnt brachte Verbesserungen in deren Einrichtung.

Während bei den Stielhämmern die Bewegung des Hammerkopfes nach einer Kreisbogenlinie stattfindet, geht sie beim Dampfhammer geradlinig vor sich. Bei den ersteren Hämmern gibt es nur eine einzige Stellung, in welcher die Hammer- und Amboßbahnen parallel zueinander stehen; bei dem Dampfhammer behalten sie ihre gegenseitige Stellung unverändert bei, man mag dickere oder dünnere Stücke darunter bearbeiten.

Größer ist der Vorteil, welchen die leichtere Regelung der Schlagstärke dem Dampfhammer gewährt. Bei einem Stielhammer läßt sich eine stärkere Schlagwirkung, wie schon erwähnt, nur durch Beschleunigung des Ganges, also unter Vermehrung der Schlagzahl hervorbringen; bei dem Dampfhammer dagegen kann man in jedem Stande des Bäres durch Absperrung des Dampfzuflusses den Hub unterbrechen, also mit geringerer und größerer Hubhöhe arbeiten; man kann den Bär beliebig lange in der Höhe schwebend erhalten, wodurch das erforderliche Drehen und Wenden des Arbeitsstückes vor erfolgendem Schlage erleichtert wird; man kann endlich auch bei einem schweren Hammer die Schlagwirkung nach Belieben abmindern, indem man vor dem beendigten Niederfallen wieder frischen Dampf unter den Kolben zutreten läßt. Es ist ein bekanntes Kunststückchen der Führer schwerer Dampfhämmer, eine auf dem Amboß liegende Nuß zu zerknacken, ohne den Kern zu beschädigen.

Diese Vorzüge allein genügen, dem Dampfhammer beim Großbetriebe, wo seine höheren Anlage- und Unterhaltungskosten weniger in Betracht kommen, ein Übergewicht über jene älteren und einfacheren Stielhämmer zu verleihen. Es kommt aber hinzu, daß die Leistungsfähigkeit (Schlagwirkung) eines Stielhammers aus den besprochenen Gründen über ein ziemlich beschränktes Maß hinaus nicht gesteigert werden kann, diejenige eines Dampfhammers dagegen durch Vergrößerung der Fallhöhe und des Fallgewichtes in fast unbegrenzter Weise und jedenfalls weit über die Leistung auch des größten Stielhammers hinaus sich ausdehnen läßt. Dieser Umstand macht den Dampfhammer unentbehrlich, wo schwere Eisenblöcke unter einem Hammer verarbeitet werden sollen.

---

[1]) Näheres über die Erfindung des Dampfhammers: Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 4, Seite 591.

Folgende Zusammenstellung gibt ein ungefähres Bild von dem Gewichte und der Hubhöhe, welche man Dampfhämmern für verschiedene Zwecke zu geben pflegt.

	Fall-gewicht t	Hub-höhe m	Hübe in der Minute
Kleinere Hämmer für Schmiedewerkstätten, sogenannte Schnellhämmer	0,05—0,5	0,15—0,60	200—500
Schmiedehämmer für größere Gegenstände . .	0,5 —1,0	0,6 —1,0	100—200
Luppenhämmer zum Zängen in Puddelwerken .	1,5 —2,5	1,0 —1,5	80—100
Hämmer zum Schweißen und Verdichten größerer Eisenstücke, z. B. in Blechwalzwerken . . .	5—10	1,5 —2,5	60—80
Hämmer zum Verdichten und Schmieden mittelgroßer Stahlblöcke	10—20	2—3	60—80
Dergl. für größere Stahlblöcke bis.	150	6	60

Ihrer Wirkungsweise gemäß lassen sich die Dampfhämmer in zwei Gruppen sondern.

Bei der einen Gruppe erfolgt das Niederfallen des Bäres nur auf Grund der Schwerkraft, indem man dem unter dem Kolben befindlichen, zum Anheben benutzten Dampf Auslaß ins Freie verschafft; solche Hämmer heißen einfach wirkend. Bei der zweiten Gruppe läßt man, nachdem umgesteuert wurde, frischen Dampf über den Kolben treten, um das Niederfallen zu beschleunigen, die Schlagwirkung zu verstärken, die Hubzeit abzukürzen, und man nennt diese Hämmer doppelt wirkend oder Hämmer mit Unter- und Oberdampf. Je größer bei einem doppelt wirkenden Hammer die freie Zylinderfläche oberhalb des Dampfkolbens ist, desto größer ist die Beschleunigung beim Niedergange, desto geringer kann also für eine geforderte theoretische Schlagwirkung das Gewicht des Bäres und die Hubhöhe ausfallen; je geringer aber die Hubhöhe und je größer die Beschleunigung des Hammerbäres ist, desto zahlreichere Schläge können in derselben Zeit ausgeführt werden. Auf diesen Umständen beruht die Einrichtung der in kleinen Schmiedewerkstätten mit Nutzen verwendeten Schnellhämmer, welche durch verhältnismäßig großen Zylinderquerschnitt und geringe Hubhöhe mitunter befähigt sind, bis zu 500 Schläge in der Minute auszuführen. Je kleiner das Arbeitsstück ist, desto rascher kühlt es bei der Bearbeitung ab, und desto vorteilhafter ist demnach eine große Hubzahl.

Daß aber mit der Größe des zu bearbeitenden Eisenstückes auch das Gewicht des Hammerbäres wachsen müsse, wurde schon oben begründet; andrerseits verringert sich mit zunehmender Größe des Schmiedestückes die Notwendigkeit einer großen Hubzahl, da das schwerere Stück nicht nur weniger rasch abkühlt, sondern auch weniger rasch sich in die zum Schmieden erforderliche Lage bringen läßt. Aus diesem Grunde sieht man um so häufiger von der Anwendung des Oberdampfes ab (welche immerhin die Einfachheit der Anordnung beeinträchtigt), je größer der

Hammer ist. Während die Hämmer mit einem Gewichte bis zu 1 t fast ohne Ausnahme, bis zu 20 t meistens mit Oberdampf arbeiten, ist seine Anwendung bei den größeren Hämmern selten.

Wie bei jeder anderen Dampfmaschine unterscheidet man bei dem Dampfhammer eine innere Steuerung, durch welche der Zu- und Abfluß des Dampfes geregelt wird, und eine äußere Steuerung, bestehend aus Hebeln und Zugstangen, durch welche die innere Steuerung ihre Bewegung erhält.

Für die innere Steuerung benutzt man bei kleinen Hämmern am häufigsten Schieber, bei größeren gewöhnlich entlastete Ventile.

Die äußere Steuerung ist bei allen Schnellhämmern selbsttätig, so daß der Hammer ununterbrochen fortarbeitet, sobald er einmal in Betrieb gesetzt ist; aber in jedem Falle kann durch eine Verstellung der Steuerung von Hand in jedem Augenblicke der Hub abgekürzt und beim Niederfallen vorzeitig frischer Unterdampf zugeleitet, die Schlagstärke also beliebig geregelt werden. Bei großen Hämmern begnügt man sich gewöhnlich, in dem höchsten zulässigen Stande des Hammerbäres eine selbsttätig wirkende Hubbegrenzung einzuführen, durch welche einer Beschädigung des Dampfzylinders vorgebeugt wird.

Zur Veranschaulichung der allgemeinen Anordnung eines Dampfhammers, deren eingehendere Besprechung in das Gebiet der Maschinenlehre gehört, möge die auf folgender Seite gegebene Abb. 258 eines von der Firma G. Brinkmann & Co. in Witten a. d. Ruhr in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gebauten doppelt wirkenden Dampfhammers von 5 t Fallgewicht dienen.

In der Abbildung bezeichnet

EU Einlaßventil für den Unterdampf,
AU Auslaßventil für den Unterdampf,
EO Einlaßventil für den Oberdampf,
AO Auslaßventil für den Oberdampf.

Hubbegrenzung findet bei diesem Hammer durch Vermittelung des am Bär befestigten Röllchens *r* statt, welches beim Aufsteigen gegen die Verlängerung des Hebels *f* schlägt, sein linkes Ende empor, sein rechtes Ende abwärts drückend. In der aus der Abbildung ersichtlichen Weise wird hierbei zunächst das Einlaßventil für den Unterdampf geschlossen, der Dampf expandiert. Durch eine wagerechte Zugstange stehen die Ventile für den Unterdampf mit denen für den Oberdampf in Verbindung. Bei weiterem Aufsteigen des Bäres wird also das Auslaßventil für den Oberdampf geschlossen, der noch eingeschlossene Dampf wird zusammengedrückt; alsdann öffnet sich das Auslaßventil für den Unterdampf und schließlich das Einlaßventil für den Oberdampf; der Kolben wird mit beschleunigter Geschwindigkeit abwärts geworfen.

Durch Empordrücken des Hebels *f* an der rechten Seite leitet der Hammerführer einen neuen Hub ein, und durch Umsteuerung von Hand kann er leicht den Hub unterbrechen, ehe selbsttätige Umsteuerung eintritt.

Ebenso kann man, da das Einlaßventil für den Oberdampf

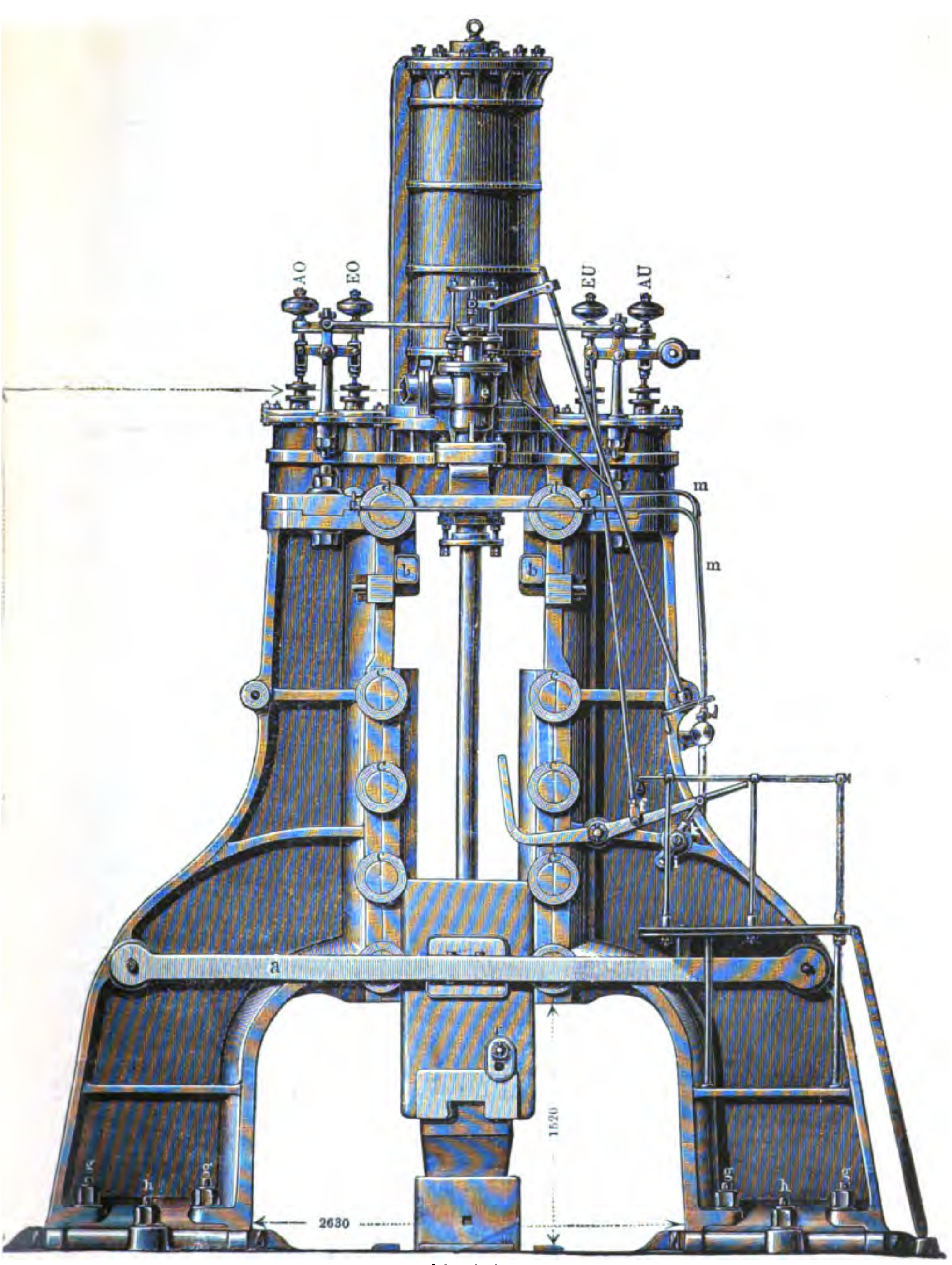


Abb. 258.

erst zuletzt geöffnet wird, bei rechtzeitiger Unterbrechung der Steuerung auch ohne Oberdampf arbeiten. Eine exzentrische Scheibe *i*, gegen welche der Hebel *f* bei seinem Niedergange schlägt, und welche mit Hilfe der Klinke *k* höher oder niedriger gestellt werden kann, dient dazu, diese Unterbrechung zu bewirken.

e ist ein Ventilgehäuse, durch welches die Dampfzuleitung aus dem Kessel nach dem Hammer stattfindet.

Die Ständer des abgebildeten Hammers sind aus Gußeisen und durch die Schienen *a* miteinander verbunden. *g* und *h* sind Fundamentschrauben. *cc* sind Schmiedeeisenringe, durch welche die prismatischen Führungen des Hammerbäres an den Ständern festgehalten werden. *bb* sind Holzstücke, gegen welche der Bär im höchsten zulässigen Stande schlägt; *mm* Ausflußröhren für verdichtetes Wasser.

Während bei kleinen und mittelgroßen Hämmern das zu bearbeitende Eisenstück mit Hilfe einer Zange erfaßt und von einem oder mehreren zusammen angreifenden Arbeitern gehandhabt wird, ist bei der Bearbeitung großer Schmiedeeisenstücke, insbesondere der schweren Flußeisen- und Flußstahlblöcke, welche für mannigfache Zwecke gefertigt werden, eine derartige Handhabung nicht mehr möglich. Hier muß Maschinenarbeit an Stelle der Handarbeit treten. Lauf- oder Drehkrahne von Elektrizität oder Dampfkraft bewegt, heben den in Ketten hängenden Eisenblock, und die Handarbeit beschränkt sich auf die Nachhilfe mit eisernen Stangen und Haken beim Wenden. Gewöhnlich stellt man den Hammer, die Krahne und die zum Erhitzen der Eisenblöcke erforderlichen Öfen in solcher Weise gegeneinander auf, daß ein und derselbe Krahn dazu dient, den Block aus dem Ofen zu holen und dem Hammer zuzuführen.

Abb. 259 auf Seite 109 gibt ein Bild einer in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gebauten derartigen Hammerhütte zu Creusot mit einem 80 t-Hammer[1]). Er steht in der Mitte der aus Eisen gebauten Halle, deren Höhe bis zum Dachstuhlgebinde 17 m beträgt. Sein Gerüst *A* ist aus hohlen Gußeisenständern gebildet, welche in Form eines A verschraubt und oben durch ein gußeisernes Querstück verbunden sind. Der Hammer ist einfach wirkend. Der Durchmesser des Dampfzylinders beträgt 1,9 m, Durchmesser der Kolbenstange 0,36 m. Der größte Kolbenhub ist 5 m, die Weite zwischen den Füßen des Ständers 7,5 m. Die Steuerung geschieht durch Ventile von Hand. Der Unterbau ruht in 11 m Tiefe unter dem Boden auf einem Felsen; auf diesem ist zunächst 4 m hohes Zementmauerwerk hergestellt, dann folgt eine Eichenholzbettung von 1 m Höhe und auf dieser ruht die 622 t schwere Schabotte, welche aus elf Teilen zusammengesetzt ist. Der Unterbau der Schabotte ist unabhängig von der des Hammergerüstes, wie die Abbildung erkennen läßt.

---

[1]) Nach v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878.

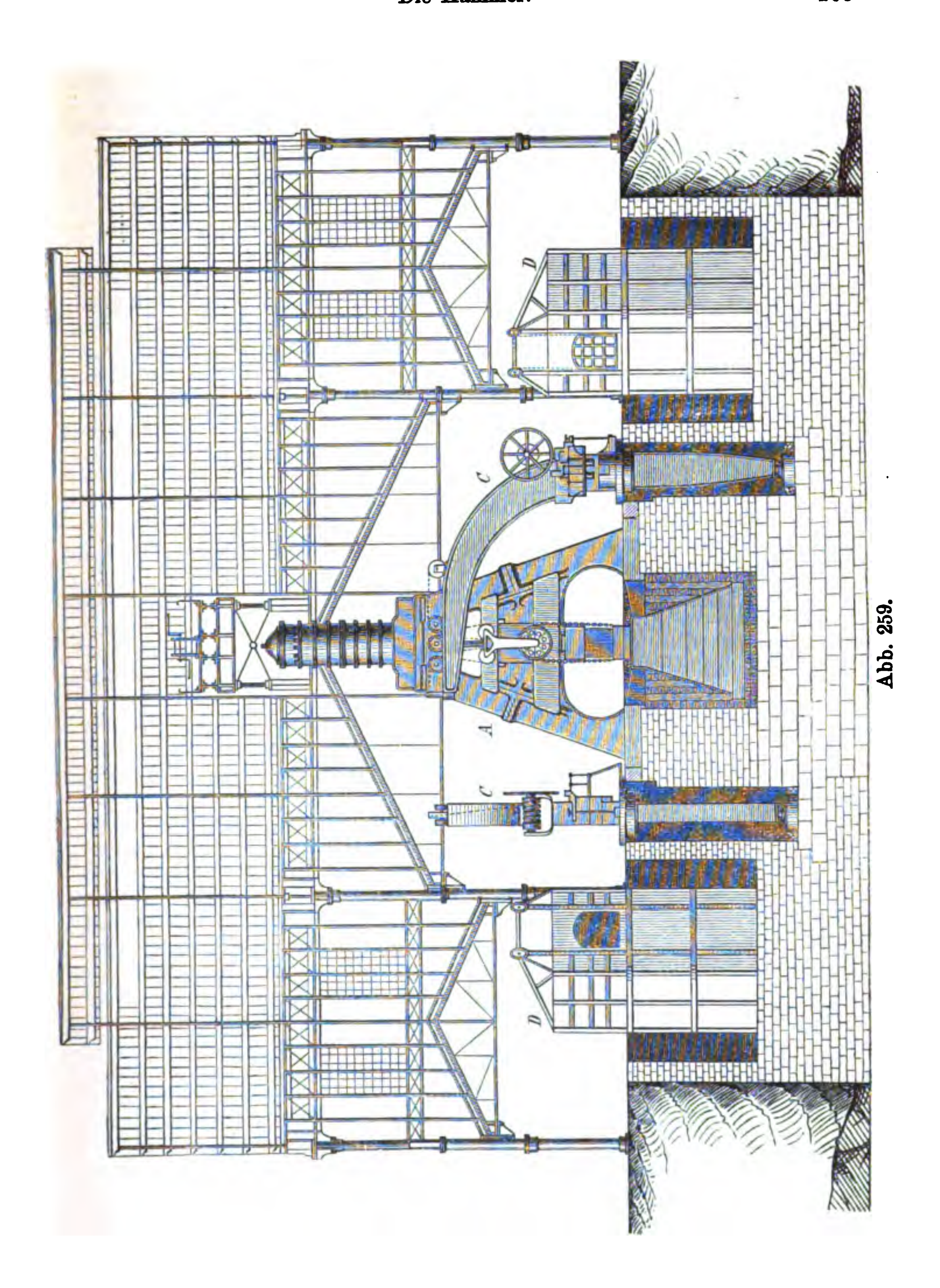


Abb. 259.

Vier Krane *CC* — zwei an jeder Seite des Hammers — sind zu seiner Bedienung bestimmt. Drei davon besitzen eine Tragkraft von 100 t, der vierte eine solche von 160 t. Sie sind aus Eisenblech gebaut, und jeder ist mit einer am Ständer befestigten 60 pferdigen Dampfmaschine versehen. Der Halbmesser des Auslegerkreises ist 9,85 m.

Zu jedem Krane gehört ein Wärmeofen *D*. Schienengeleise verbinden die Hammerhütte mit der in der Nähe gelegenen Stahlhütte, in welcher die Blöcke erzeugt werden.

Heute baut man allgemein Hämmer von etwa 3000 kg Fallgewicht an und darüber mit schmiedeeisernem Unterbau, welcher bei größerer Sicherheit gegen Bruch einen breiteren Arbeitsraum zwischen den Ständern zuläßt. Diese Konstruktion wurde zum erstenmal im Jahre 1863 von Alfred Trappen, dem Direktor der Märkischen Maschinenbauanstalt in Wetter a. d. Ruhr, bei einem für das Gußstahlwerk Witten bestimmten 300 Zentnerhammer angewendet, welcher heute noch in Betrieb ist.

d) Die Arbeit des Schmiedens.

Wenn mit dem Hammer ein Schlag auf irgendeine Stelle eines durch Erhitzung erweichten Eisenstückes ausgeführt wird, so entsteht an dieser Stelle ein Eindruck, d. h. eine Verdünnung des Querschnitts. Je kleiner die Stelle war, auf welche die Schlagwirkung ausgeübt wurde, desto tiefer muß bei übrigens gleicher mechanischer Wirkung des Schlages der Eindruck, desto stärker die Querschnittsverdünnung ausfallen.

Wenn es sich also nicht sowohl darum handelt, durch die Hammerschläge weitgehende Querschnittsveränderungen hervorzubringen, als vielmehr ein Auspressen von Schlacke aus weichem Schweißeisen, eine Verdichtung blasigen Flußeisens herbeizuführen, so läßt man jeden einzelnen Schlag möglichst auf die ganze Oberfläche des auf dem Amboß ruhenden Arbeitsstückes einwirken, d. h. man verwendet einen Hammer mit breiter Bahn. Auch hierbei findet jedoch eine allmähliche Querschnittsverdünnung unter entsprechender Ausbreitung statt. War eine solche Formveränderung nicht beabsichtigt, so ist es nicht schwierig, ihr entgegenzuarbeiten; man braucht nur das Arbeitsstück von Zeit zu Zeit um 90° zu wenden, um nunmehr durch die Hammerschläge eine Verkürzung in der Richtung der zuvorigen Ausbreitung, eine Verdickung in der Richtung der zuvorigen Querschnittsverdünnung herbeizuführen (Stauchen).

Übt man vermittelst eines Hammers, dessen Bahn kreisrunde Form von geringem Durchmesser besitzt und unten etwas gebaucht ist, einen Schlag auf eine Stelle eines plattenförmigen Arbeitsstückes aus, welche nicht dessen ganze Breite besitzt, so entsteht hier eine Beule, d. h. wegen der stattfindenden Querschnittsverdünnung muß das Metall aus der Ebene des Arbeitsstückes heraustreten, und wenn man zahlreiche solche Beulen in bestimmter Folge aneinander reiht, so nimmt allmählich die ganze Platte eine ausgebauchte Form an, es entsteht ein Hohlkörper. Es ist dieses

eine Arbeit, die zwar bei der Herstellung und ersten Formgebung des Eisens selten oder gar nicht in Anwendung kommt, bei der Verarbeitung der Metalle zu Gebrauchsgegenständen aber seit alters her eine große Wichtigkeit besitzt und Treiben genannt wird.

Benutzt man einen Hammer mit langgestreckter schmaler Bahn, welche man Finne nennt, und führt mit desen Hilfe einen Schlag aus, welcher quer über das ganze Arbeitsstück hinübergeht, so entsteht an dieser Stelle eine Furche. Der Querschnitt wird hier verdünnt, und die nächste Folge davon ist eine Längenausdehnung in der Richtung rechtwinklig gegen die Richtung jener Furche. Bei dem Arbeitsstücke Abb. 260 muß die Entstehung der Furche *ab* eine Verlängerung in der Richtung des Pfeiles zur Folge haben. Reiht man nun zahlreiche solcher Parallelfurchen eine dicht neben die andere, so erfährt das Arbeitsstück, ohne erheblich verbreitert zu werden, eine entsprechende Längenausdehnung und gleichzeitige Querschnittsverdünnung. Diese Arbeit, Längenausdehnung und Querschnittsverdünnung ohne Verbreiterung, welche sowohl bei der ersten Formgebung als bei der späteren Verarbeitung des Eisens und anderer Metalle häufig in Anwendung kommt, wird Strecken genannt. Je schmaler die Bahn des beim Strecken benutzten Hammers ist, desto stärker fällt die durch jeden einzelnen Schlag hervorgebrachte Querschnittsverdünnung aus, desto rascher ist der Verlauf des Streckens, desto geringer die stattfindende Ausbreitung des Arbeitsstückes.

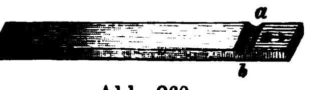


Abb. 260.

Je dichter nun die benachbarten Hammerschläge, welche das Strecken bewirkten, nebeneinander liegen, desto weniger bemerkbare Spuren bleiben auf der Oberfläche des Arbeitsstückes zurück. Vollständig lassen sie sich tilgen, wenn nach beendigtem Strecken das Arbeitsstück mit wenigen Schlägen einer Hammerbahn bearbeitet wird, deren Längenrichtung mit der Längenrichtung des gestreckten Arbeitsstückes übereinstimmt, während ihre Breite mindestens so groß ist, wie die Breite des Arbeitsstückes. Die Schlagwirkung wird hierbei auf eine große Fläche verteilt, und eine erhebliche Querschnittsverdünnung oder Ausbreitung findet nicht statt; aber die mit Furchen bedeckte Oberfläche wird geglättet. Diese Vervollkommnung der Oberfläche eines durch Hammerschläge gestreckten Arbeitsstückes heißt Schlichten.

Die dem Strecken entgegengesetzte Arbeit ist das Stauchen, eine Verkürzung der Längenabmessung unter Vergrößerung der Dicke. Die Arbeit wird, wie oben erwähnt, ausgeführt, indem man das Arbeitsstück hochkantig auf den Amboß stellt und Schläge auf die Stirnfläche ausführt.

Der geschilderte Verlauf des Streckens, Schlichtens und Stauchens, welche Arbeiten bei jedem Hammer zur Ausführung kommen, der nicht etwa zum Treiben bestimmt und deshalb mit besonders geformter Bahn versehen ist, erklärt die übliche Form und Anwendung der Hammerbahnen.

Den Aufwerf- und Schwanzhämmern der Schweißeisenhütten, welche die Bestimmung haben, zum Ausschmieden des Eisens zu

Stäben benutzt zu werden, pflegt man eine rechteckige, langgestreckte Bahn zu geben. Je schmaler die Bahn ist (deren Form mit derjenigen der Amboßbahn übereinstimmen muß), desto rascher geht das Strecken unter dem Hammer vorwärts; aber in Rücksicht auf das nachfolgende Schlichten darf die Breite der Bahn immerhin nicht geringer sein als diejenige der zu schmiedenden Stäbe.

Beim Strecken nun hält man den Stab so, daß er quer über dem Amboß liegt (Abb. 260), beim Schlichten legt man ihn von der Stirnseite des Hammers aus der Länge nach auf den Amboß. Soll die Breitenrichtung verkürzt oder sollen die Kanten geebnet werden, so wird er mit der schmalen Seite auf den Amboß gelegt.

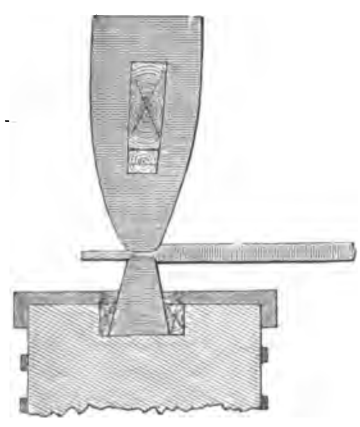


Abb. 261.

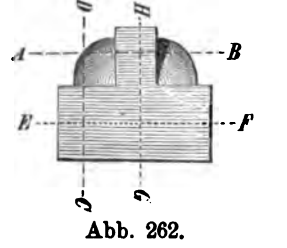
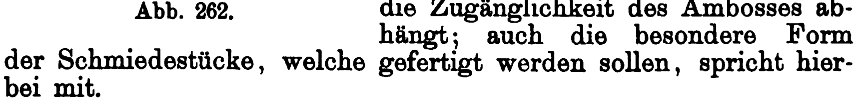


Abb. 262.

Größeren Hämmern dagegen (Dampfhämmern) pflegt man eine Hammer- und Amboßbahn, wie in Abb. 261 im Grundrisse dargestellt ist, d. i. mit **T** förmiger Grundfläche zu geben. Die beiden rundlichen Ansätze in den Ecken dienen nur zur Verstärkung. Beim Strecken legt man, je nachdem es rascher oder weniger rasch verlaufen soll, das Arbeitsstück entweder in der Richtung *AB* oder *CD* quer über einen der Schenkel; beim Schlichten erhält es die Richtung *EF* oder *GH*. Der mittlere Teil der Bahn in der Nähe der Kreuzungsstelle dient zum Stauchen, welches besonders bei der ersten Bearbeitung der Eisenblöcke und Luppen ziemlich regelmäßig erforderlich ist.

Im übrigen muß für die Gestaltung der Hammer- und Amboßbahn auch die Anordnung des Hammergerüstes in Betracht kommen, von welcher die Zugänglichkeit des Ambosses abhängt; auch die besondere Form der Schmiedestücke, welche gefertigt werden sollen, spricht hierbei mit.



Sonstige Arbeiten des Schmiedens kommen mehr bei der späteren Verarbeitung als bei der ersten, in den Eisenhütten bewirkten Formgebung in Anwendung und sind so leicht verständlich, daß sie einer eingehenderen Erörterung nicht bedürfen. Hierher gehört das Schmieden in G e s e n k e n, formgebenden, aus Eisen hergestellten Ergänzungsstücken zum Hammer und Amboß, welche beim Schmieden einen ähnlichen Zweck zu erfüllen haben, wie die Gußformen beim Gießen; das Abhauen einzelner Stücke vom Ganzen mit Hilfe des S c h r o t m e i ß e l s und A b s c h r o t e s; die Herstellung einer durchgehenden Öffnung vermittelst des D u r c h s c h l a g e s und L o c h r i n g e s, u. a. m. In jeder kleineren und

größeren Schmiedewerkstatt kann man die hierfür benutzten Geräte und ihre Anwendung täglich in Augenschein nehmen.

3. Die Pressen.

a) Allgemeines.

Während die Wirkung des Hammers auf der Ausübung von Schlägen beruht, wirkt die Presse durch ruhigen, aber kräftigen Druck. Mit anderen Worten: bei dem Hammer ist die Endgeschwindigkeit, mit welcher das Arbeitsstück vom Hammerkopfe (Fallbär) getroffen wird, wichtig für das Maß des stattfindenden Einflusses; bei der Presse ist diese Geschwindigkeit so unbedeutend, daß nur die ausgeübte Kraft — der Druck — für die Wirkung in Betracht kommt.

Dieser Unterschied bedingt beachtenswerte Abweichungen auch in dem Erfolge, je nachdem man sich eines Hammers oder einer Presse bedient.

Schon früher wurde des Umstandes gedacht, daß die von einem Hammer getroffenen Teilchen an der Außenfläche eines Eisenstückes um so weniger Zeit finden, die empfangene Einwirkung auf die inneren Teilchen fortzupflanzen, je kürzer die Zeitdauer dieser Einwirkung, d. h. je größer die Endgeschwindigkeit des Schlages ist. Die erste Folge hiervon ist die ungünstige Ausnutzung der durch die Formel $\frac{Mv^2}{2}$ (Seite 97 III) ausgedrückten Schlagarbeit, welche sich durch die Entstehung von Erschütterungen der Schabotte und des umgebenden Erdreiches äußert, hervorgerufen durch die vom Hammer ausgeübte und vom Arbeitsstücke nicht verbrauchte Arbeit.

Findet statt des Schlages ein ruhiger, auf einen längeren Zeitraum ausgedehnter Druck statt, so können die Teilchen des Arbeitsstückes besser als in jenem Falle der stattfindenden Einwirkung Folge geben; sie ändern in stärkerem Maße ihre Lage gegeneinander, und insbesondere wird auch das Innere des Arbeitsstückes stärker beeinflußt. Die Ausnutzung der aufgewendeten Arbeit ist demnach günstiger, und in den Fällen, wo nicht bloß eine Formveränderung des Arbeitsstückes beabsichtigt ist, sondern wo eine Veredelung des Metalls in dem früher besprochenen Sinne stattfinden soll, ist die Wirkung des Pressens vollkommener, zumal bei Arbeitsstücken von größerer Dicke.

Mit dem Maße der durch einen Schlag in dem einen, durch einen Druck in dem andern Falle verrichteten Arbeit wächst jener Unterschied in der Arbeitsausnutzung. Man kann daher mit Vorteil die Wirkung mehrerer aufeinander folgender Hammerschläge durch einen einmaligen, entsprechend kräftigen Druck einer Presse ersetzen. Die Zeitdauer der Arbeit wird hierdurch abgekürzt, und indem man den nach jedem Hammerschlage notwendigen leeren Rückgang entbehrlich macht, vermeidet man fernerhin Arbeitsverluste. Die bei Benutzung schwerer Hämmer unvermeidlichen Erschütterungen, welche auch die schwerste Schabotte nicht voll-

ständig aufzunehmen vermag, fallen bei Benutzung einer Presse weg und damit auch die Schädigungen und Belästigungen, welche durch jene Erschütterungen veranlaßt werden können.

Diese Vorteile des Pressens gelangen um so deutlicher zur Geltung, je schwerer das zu bearbeitende Eisenstück und je größer demnach die für seine Bearbeitung aufzuwendende mechanische Arbeit ist. Bei der Bearbeitung der verhältnismäßig kleinen und weichen Luppen, welche das erste Erzeugnis der Schweißeisendarstellung bilden, bietet die Benutzung einer Presse kaum besondere Vorteile vor der eines Hammers; manche nehmen sogar an, daß die Schlagwirkung eines Hammers günstiger für das Auspressen der Schlacke sei als der Druck einer Presse[1]). Vorteilhafte Verwendung dagegen finden die Pressen bei der Bearbeitung schwerer Flußeisenblöcke, und seit Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hat die Zahl der für diesen Zweck erbauten Pressen von Jahr zu Jahr sich vermehrt, nachdem die den älteren Pressen anhaftenden Mängel glücklich beseitigt worden sind. Es ist kaum zu bezweifeln, daß allmählich die schweren Dampfhämmer verschwinden und Pressen an ihre Stelle treten werden.

Ein Vergleich der Leistungsfähigkeit einer Presse mit der eines Hammers wird möglich, wenn man den Dampfverbrauch beider Maschinen bei Ausführung derselben Arbeit gegenüberstellt. Genaue Ermittelungen hierüber scheinen bislang nicht angestellt zu sein, doch pflegt man, auf den Betriebsergebnissen in längeren Zeiträumen fußend, anzunehmen, daß die Presse bei gleichem Dampfverbrauche und in gleicher Arbeitszeit die doppelte Menge Schmiedestücke (bearbeiteter Arbeitsstücke) als ein Hammer zu liefern fähig sei[2]). Hiermit im Einklange steht eine von Gautier mitgeteilte Beobachtung[3]). In einem Sheffielder Eisenwerke wurden Flußstahlblöcke von $36^1/_2$ t Gewicht, welche für Herstellung von Geschützrohren bestimmt waren, teils unter einem 50 t-Dampfhammer, teils unter einer Presse von 4000 t Druck bearbeitet. Die Arbeit unter dem Hammer erforderte 33 Erhitzungen, die unter der Presse nur 15 Erhitzungen.

Die Wirkungsweise der Presse macht die Anwendung eines Druckes notwendig, welcher ein Vielfaches von dem Gewichte eines für denselben Zweck bestimmten Hammers betragen muß. Nach Chômienne[4]) ist das Verhältnis etwa 40:1, d. h. ein Hammer von 50 t Fallgewicht läßt sich durch eine Presse von 2000 t Druck ersetzen, doch findet man es in der Regel vorteilhafter, noch kräftigere Pressen zur Anwendung zu bringen. Die größte bis jetzt gebaute Presse, auf den Betlehem-Eisenwerken in Pennsylvanien, vermag einen Druck von 14000 t auszuüben[5]).

---

[1]) Vergleiche dagegen „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 257, die Leistung einer für diesen Zweck aufgestellten Presse betreffend.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 170 (Daelen).

[3]) Bulletin de la Société de l'Industrie minérale 1889, Seite 841.

[4]) Cl. Chômienne, Fabrication de l'acier, Paris 1898, Seite 109.

[5]) „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 682.

b) Die Einrichtung der Pressen.

Nur Pressen mit Wasserdruck sind geeignet, die bedeutende Kraftleistung zu entwickeln, welche für die hier in Rede stehenden Zwecke erforderlich ist. Schon im Jahre 1861 wurde von Haswell eine Wasserdruckpresse gebaut, welche für Anfertigung größerer Schmiedestücke aus Schweißeisen, wie auch für die Verdichtung von Schweißeisenluppen bestimmt war [1]). Für den letzteren Zweck wurde sie, wie es scheint, nur versuchsweise und ohne recht befriedigenden Erfolg in Anwendung genommen; für den ersteren Zweck dagegen war sie bis zum Anfang der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts mehrfach in Benutzung.

Als nicht geeignet erwies sich jene Presse für die erste Bearbeitung schwerer Flußeisenblöcke, also diejenige Aufgabe, für welche die Anwendung einer kräftigen Presse vorzugsweise von Nutzen ist. Ihre Einrichtung mußte in mehrfacher Beziehung vervollkommnet werden, um die Erzielung des sehr hohen, für diesen Zweck notwendigen Druckes zu ermöglichen. Die im Laufe der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gemachten Fortschritte in der Stahlgießerei erleichterten die Erreichung des Zieles, indem sie die Möglichkeit gewährten, für die besonders stark beanspruchten Teile der Presse, z. B. den Druckzylinder, Stahlguß statt des weniger festen, bis dahin ausschließlich benutzten Gußeisens zur Anwendung zu bringen.

Die Erzeugung der Kraft geschieht bei allen diesen Pressen durch Dampf. Bei einigen Pressen (z. B. bei den unten abgebildeten) erfolgt die Druckübertragung vom Dampfkolben aus durch Vermittelung eines Treibkolbens mit Druck unmittelbar auf den Preßkolben; bei anderen ist ein Sammler (Akkumulator) vorhanden, welchem zunächst durch eine Druckpumpe das Wasser zugeführt wird. Der ausgeübte Wasserdruck beträgt bis 600 kg auf 1 qcm. Im Einzelnen aber ist die Einrichtung der verschiedenen in der Jetztzeit benutzten Pressen ziemlich mannigfaltig.

Als erstes Beispiel möge die in Abb. 263 dargestellte, von der Kalker Werkzeugmaschinenfabrik L. W. Breuer, Schumacher & Co. in Kalk bei Deutz gebaute Wasserdruckpresse dienen, welche für einen Gesamtdruck von 1200 t bestimmt ist. *a* ist der Dampfzylinder, dessen nach oben gerichtete Kolbenstange den mit ihr in einem Stücke gefertigten Kolben des mit Wasser gefüllten, aus geschmiedetem Stahl gefertigten Treibzylinders *b* bewegt. Durch die Leitung *c* ist der Treibzylinder mit dem im Querhaupte *d* der Presse befestigten, aus Stahl gegossenen Druckzylinder verbunden, dessen nach unten gerichteter Kolben *e* das Führungsstück *f* trägt. In dieses wird die zum Auswechseln eingerichtete Preßplatte *g* eingesetzt, welche durch einen ebenfalls auswechselbaren, im Unterteile *h* der Presse befestigten Amboß ihre Ergänzung findet. Vier kräftige Zuganker dienen sowohl zur

---

[1]) Näheres hierüber: Jahrbuch der Bergakademien zu Leoben, Schemnitz und Přibram, Band 15, Seite 166; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1863, Seite 287; Zeitschr. d. österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1872, Seite 329.

Verbindung des Querhauptes *d* mit dem Unterteile als zur Führung des Stücks *f*.

An der Rückseite des Dampfzylinders *a* befindet sich der

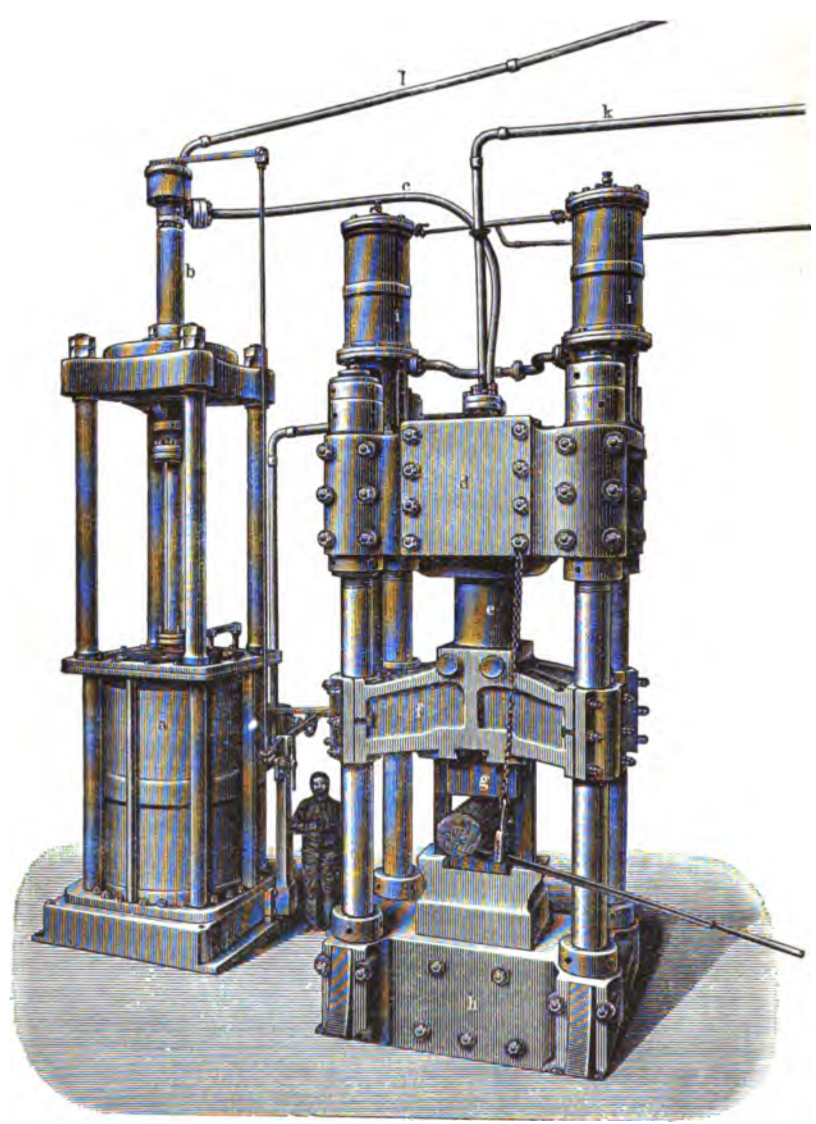


Abb. 263.

Steuerungszylinder mit entlastetem Kolbenschieber. Wird von hier Dampf unter den Kolben geleitet, so steigt dieser, drückt das Wasser aus dem Treibzylinder *b* in den Druckzylinder bei *d*, der Kolben *e* geht abwärts, und das Arbeitsstück wird gepresst. Als-

dann wird umgesteuert. Der Dampf in *a* erhält Auslaß, und das Gewicht des Dampfkolbens veranlaßt dessen Niedergang, während der Aufgang des Preßkolbens durch zwei kleine Dampfzylinder *i i* auf dem Querhaupte *d* bewirkt wird, deren abwärts gerichtete Kolbenstangen an das Führungsstück *f* angeschlossen sind und dieses samt dem Druckkolben emporziehen, sobald Dampf unter ihre Kolben geleitet und dem über dem Preßkolben stehenden Druckwasser durch das Sinken des Treibkolbens in *b* Gelegenheit zum Austreten gegeben ist. Es tritt in den Treibkolben zurück und kann wiederum verwendet werden. Um jedoch in den Fällen, wo der Preßkolben keinen Druck ausüben soll, seine Abwärtsbewegung auch ohne Dampfverbrauch zu ermöglichen, z. B. wenn er höher steht als das Arbeitsstück und nun zunächst gesenkt werden soll, bis er diese berührt, ist ein Rohr *k*, welches aus einem höher gelegenen Wasserbehälter kommt, mit dem Druckzylinder verbunden. Läßt man also den Dampf aus den Zylindern *i i* entweichen, so sinkt der Preßkolben vermöge seines eigenen Gewichts, durch *k* fließt Wasser nach und füllt den Druckzylinder; erst wenn die Preßplatte *g* sich auf das Arbeitsstück aufgesetzt hat, wird Druckwasser aus *b* nach *d* übergeführt, wobei ein Ventil in dem Rohr *k* das Zurücktreten nach hier verhindert. Beim Aufsteigen des Kolbens tritt das überschüssige, nicht zum Füllen des Treibzylinders *b* verbrauchte Druckwasser durch das ebenfalls mit Ventil versehene Rohr *l* in den Wasserbehälter zurück.

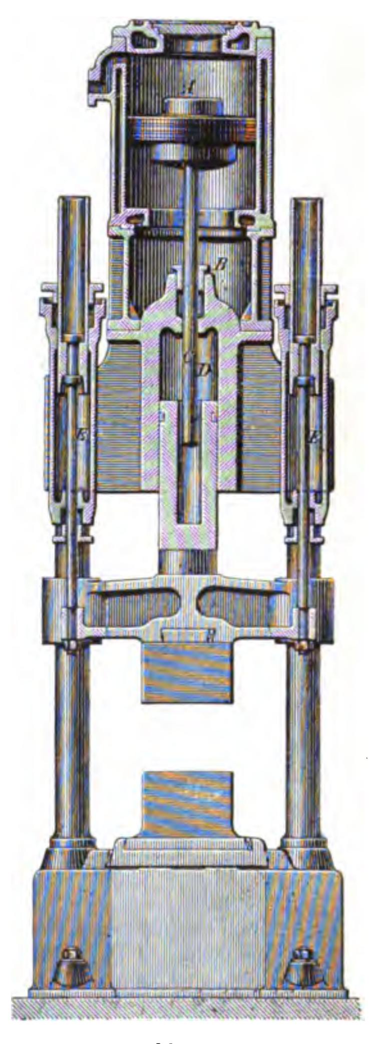


Abb. 264.

Statt durch Dampfdruck läßt sich auch durch Wasserdruck die Aufwärtsbewegung des Preßkolbens bewirken. Abb. 264 zeigt eine von der Firma Haniel und Lueg in Grafenberg-Düsseldorf gebaute derartige Presse[1]), welche von der vorstehend beschriebenen sich auch dadurch unterscheidet, daß bei ihr der Dampfzylinder über dem Wasserdruckzylinder angebracht ist und dadurch die Druck-

[1]) D. R.-P. 130951.

wasserleitung entbehrlich wird. *A* ist der unten offene Dampfzylinder, durch den Fuß *B* mit der Presse verbunden. Die abwärts führende Kolbenstange *C* dient zugleich als Treibkolben und taucht zu diesem Zwecke in den Wasserdruckzylinder *D* ein, so daß der ausgeübte Druck im Verhältnisse der Kolbenquerschnitte vervielfältigt wird. Für die Aufwärtsbewegung dienen die Kolben der beiden Wasserdruckzylinder *EE*, welche unausgesetzt unter einem geringern Drucke stehen. Von dem durch den Preßkolben ausgeübten Drucke kommt also für die Ausnutzung der durch diese Gegenkolben erzeugte Druck in Abzug; läßt man aber den Dampf aus dem Dampfzylinder entweichen, so hört der vom Dampfkolben ausgehende Druck auf, die Gegenkolben ziehen das unten angeschlossene Querhaupt der Presse nebst dem darüber befindlichen Preßkolben empor, und das im Wasserdruckzylinder *D* eingeschlossene Wasser treibt auch die Stange *C* und mit dieser den Dampfkolben in die Anfangsstellung zurück. Eine an den Wasserdruckzylinder *D* angeschlossene Leitung für niederen Druck mit Rückschlagsventil ermöglicht die Regelung des Hubes und das Niederlassen des Preßkolbens bis auf das Arbeitsstück, bevor der Dampfkolben seine Tätigkeit beginnt. Durch Anwendung von Dampfexpansion ist man befähigt, auch das Maß des ausgeübten Drucks zu regeln. Pressen dieser Art sind bislang bis zu einer Leistung von 6000 t gebaut worden.

Die Bedienung einer solchen Presse geschieht mit Hilfe von Kranen in der nämlichen Weise wie die eines großen Hammers. Zur Veranschaulichung der Einrichtung einer großen Preßhütte kann das Schaubild 265 dienen (Preßhütte der Firma Haniel und Lueg in Grafenberg-Düsseldorf). Man gewahrt in der Mitte die Presse, deren Einrichtung durch Abb. 264 erläutert wurde; an einer starken, über eine Rolle gelegten Kette hängt das unter der Presse befindliche schwere Arbeitsstück und ein elektrischer Laufkran, dessen untere Flaschenzugsrolle erkennbar ist, dient zur Bewegung des Arbeitsstücks. Seitlich von der Presse gewahrt man die Steuerbühne, noch weiter links die Wärmöfen, aus deren einem ein zweites schweres Arbeitsstück herausragt[1]).

c) Die Arbeit des Pressens.

Durch die nämliche Art und Weise der Einwirkung wie beim Schmieden mit dem Hammer wird die stattfindende Formveränderung auch beim Pressen bewirkt. Erzeugt man unter Anwendung einer schmalen Bahn (Druckfläche) einen quer über das Arbeitsstück hinüber gehenden Eindruck, so findet Streckung in der Richtung rechtwinklig gegen jenen Eindruck statt; ist die Bahn breit, so weichen die Teilchen nach allen Richtungen aus, es tritt Ausbreitung ein. Soll eine Abmessung verkürzt werden, so erreicht man den Zweck durch Stauchen; häufig auch ist die Anwendung von Gesenken erforderlich, um weniger einfache Formen hervorzubringen, als sich zwischen den ebenen Druckflächen ausbilden lassen.

---

[1]) Vergleiche auch die Abbildung der Preßhütte der Bochumer Gußstahlfabrik: „Stahl und Eisen“ 1892, Tafel III.

Abb.

Presshütte der Firma Haniel &



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

265.

Lueg in Grafenberg-Düsseldorf.



Graphisches Institut Julius Klinkhardt, Leipzig.

4. Die

ilsterungen.

...für Metallbea...
...zwisch...
...gewöhnlich...
...um hierdurch...
...Abb. 266).
...der: das zu...
...der Walzen...
...ihnen hin...
...Strecken v...
...den Franz...
...Walzwerk...
...gere W...
...erlangt.

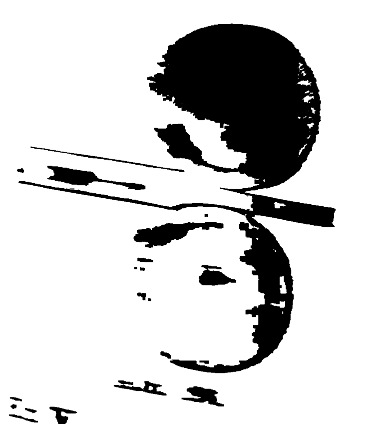


4. Die Walzwerke.

a) [illegible] Vorgänge beim Walzen.

[illegible] Walzwerk [illegible] Metallbearbeitung ist eine Vorrichtung, bei [illegible] zwischen zwei [illegible] entgegengesetzter [illegible] legenden Walzen hin- [illegible] Verdünnung seines Quer- [illegible] Die Walzen erhalten hierbei ihren [illegible] Arbeitsstück wird ver- [illegible] von den Walzen er- [illegible]

[illegible] wurden im 16. Jahr [illegible] eingeführt; in den [illegible] Jahrhundert vor [illegible] im Laufe [illegible]





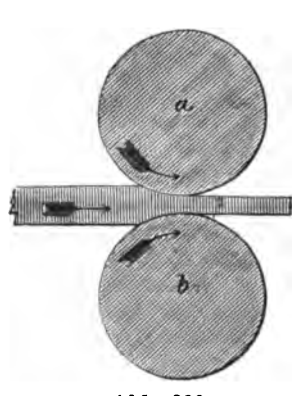
[illegible]

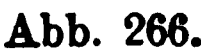
4. Die Walzwerke.

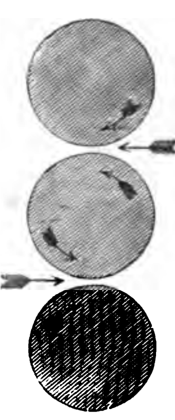
a) Erläuterungen. Vorgänge beim Walzen.

Ein Walzwerk für Metallbearbeitung ist eine Vorrichtung, bei welcher das Arbeitsstück zwischen zwei sich in entgegengesetzter Richtung drehenden, gewöhnlich wagerecht liegenden Walzen hindurchgeführt wird, um hierdurch eine Verdünnung seines Querschnitts zu erleiden (Abb. 266). Die Walzen erhalten hierbei ihren Antrieb von außen her; das zu walzende Arbeitsstück wird vermöge der Reibung der Walzenoberflächen von den Walzen ergriffen und zwischen ihnen hindurchgeführt.

Walzwerke zum Strecken von Münzzainen wurden im 16. Jahrhundert zuerst durch den Franzosen Brulier eingeführt; in den Eisenwerken fanden Walzwerke im Laufe des 18. Jahrhundert vereinzelt Eingang[1]); größere Wichtigkeit haben sie erst im Laufe des 19. Jahrhunderts erlangt.




Abb. 266.


Abb. 267.

Ein Walzwerk mit zwei parallelen Walzen, wie Abb. 266, heißt Zweiwalzwerk (Duowalzwerk), und man unterscheidet dabei die Oberwalze *a* und die Unterwalze *b*; ordnet man eine dritte Parallelwalze an zu dem Zwecke, das Walzstück, nachdem es zwischen der ersten und zweiten Walze hindurchgegangen ist, zwischen der zweiten und dritten wieder zurückführen zu können (Abb. 267), so heißt das Walzwerk Dreiwalzwerk (Triowalzwerk) mit Oberwalze, Mittelwalze und Unterwalze. Ein Dreiwalzwerk ermöglicht eine größere Beschleunigung der Arbeit als ein Zweiwalzwerk, und seine Anwendung ist deshalb vorzugsweise zweckmäßig beim Walzen von Gegenständen mit dünneren Querschnitten, welche rascher erkalten; aber auch für Herstellung mittelstarker Gegenstände, z. B. Eisenbahnschienen, findet es jenes Vorteils halber in der Jetztzeit häufigere Anwendung als das Zweiwalzwerk.

---

[1]) Ludwig Beck, Geschichte des Eisens, Band 2, Seite 528; Band 3, Seite 243, 578, 706; Band 4, Seite 124.

Das Doppel-Duowalzwerk (Abb. 268) besteht aus zwei gegeneinander versetzten Walzenpaaren, und vereinigt den Vorteil der einfacheren Kalibrierung und der leichteren Einstellbarkeit der Walzen des Duowalzwerks mit jenem des Triowalzwerks.

Sofern die Walzen des Walzwerkes, wie hier vorläufig angenommen wurde, sich unausgesetzt in gleich bleibender Richtung drehen, muß das Walzstück, um aufs neue zwischen den Walzen hindurchgeführt werden zu können [1]), in zwei verschiedene Höhenlagen gebracht werden. Bei dem Zweiwalzwerk muß es nach beendigtem Durchgange angehoben und leer über die Oberwalze zurückgegeben werden; bei dem Dreiwalzwerke geht es abwechselnd in den durch die Pfeile in Abb. 267 bezeichneten Höhenlagen zwischen den Walzen hindurch und muß demnach abwechselnd um so viel gehoben und gesenkt werden, als der Durchmesser der Mittelwalze beträgt. Je größer das Gewicht des Walzstückes ist, desto beschwerlicher gestaltet sich diese Arbeit, und desto umfänglichere Vorrichtungen sind dafür erforderlich. Sie läßt sich vermeiden, wenn man den Walzen, sobald das Walzstück sie verlassen hat, eine entgegengesetzte Drehung als zuvor erteilt, so daß nunmehr das Walzstück in derselben Ebene wie zuvor wieder zurückgewalzt werden kann. Solche Walzwerke mit abwechselnderBewegungsrichtungheißen Kehr- oder Reservierwalzwerke. Sie würden ungleich häufiger in Anwendung sein, als es der Fall ist, wenn nicht mit der Umkehr der Bewegung auch ein erhöhter Arbeitsverbrauch verknüpft wäre. In den sich drehenden Teilen des Walzwerkes ist eine beträchtliche Arbeit aufgespeichert, welche bei dem plötzlichen Stillstande vernichtet und bei dem Beginne der entgegengesetzten Drehung von neuem erzeugt werden muß. Eine Umsteuerung des Schwungrades aber würde dessen Bestimmung geradezu widersprechen; ohne sehr lange Pausen zwischen den einzelnen Durchgängen würde sie überhaupt unausführbar sein.

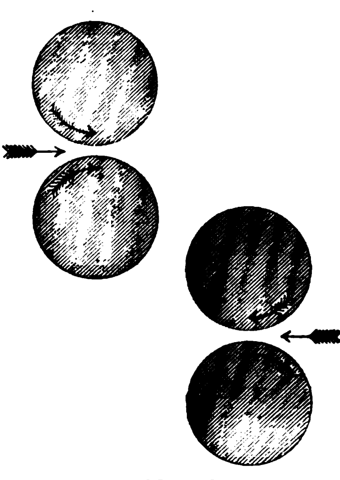


Abb. 268.

Man hat den Übelstand bisweilen dadurch zu umgehen gesucht, daß man zwischen Schwungrad und Walzwerk Umsteuerungsvorrichtungen mit ein- und ausrückbaren Kuppelungen einschaltete, welche eine Bewegungsumkehr des Walzwerkes ermöglichten, ohne daß das Schwungrad seine Bewegung zu ändern braucht; aber diese Versuche scheiterten fast immer an der Schwierigkeit, den bei der Umsteuerung eintretenden heftigen Stößen gegenüber aus-

[1]) Zur Vollendung der Walzarbeit pflegen 8 bis 15 Durchgänge mit stetig fortschreitender Verkleinerung des Querschnitts erforderlich zu sein.

reichend widerstandsfähige Kuppelungen herzustellen[1]). Man ist daher genötigt, auch die Antriebsmaschine (fast immer Dampfmaschine) umzusteuern, sobald Umkehr der Walzenbewegung stattfinden soll, und das Schwungrad wegzulassen. Während zum Walzen schwerer Gegenstände — schwerer Blöcke, Träger, Bleche u. a. — die Kehrwalzwerke bevorzugt werden, verlieren sie um so mehr an Zweckmäßigkeit, je geringere Schwierigkeiten das Anheben und Senken des Walzstückes bereitet.

Bei den meisten Walzwerken erfolgt die Bewegung der Walzen durch Vermittelung von ineinander greifenden Getrieben, deren Zapfen mit den Zapfen der Walzen gekuppelt sind, und von welchen eins seinen Antrieb von der Betriebsmaschine aus erhält; in einzelnen Fällen jedoch treibt man unter Weglassung der Getriebe nur die eine Walze an und läßt die zweite, oder auch die zweite und dritte, nur durch die Reibung des von der ersten Walze mitgenommenen Arbeitsstückes in Drehung versetzen. Solche Walzen ohne äußeren Antrieb heißen Schleppwalzen.

Sollen plattenförmige Körper (Bleche) gewalzt werden, so ist die Oberfläche der Walzen glatt; sollen dagegen stabförmige Körper von bestimmter Querschnittsform hergestellt werden, so ist die Oberfläche mit ringförmig herumlaufenden Profilbegrenzungen bedeckt, welche das hindurchgehende Walzstück einschließen und Kaliber genannt werden. Sie vertreten gewissermaßen die Stelle eines Gesenkes beim Schmieden, der Gußform beim Gießen. Auf der einzelnen Walze erscheinen sie teils als Einschnitte oder Furchen, teils als Ringe, welche in die Furche der zweiten Walze eingreifen (vgl. unten Abb. 270). Selbstverständlich müssen die Kaliber der zueinander gehörenden Walzen genau einander ergänzen, zueinander passen.

Der Vorgang beim Walzen besitzt eine gewisse Ähnlichkeit mit dem früher geschilderten Vorgange des Streckens unter dem Hammer oder der Presse. Die Unterwalze vertritt beim Walzen die Stelle des Amboß, die Oberwalze diejenige des Hammers oder der Preßplatte; in allen diesen Fällen wird die Streckung vornehmlich dadurch bewirkt, daß das quer über das ganze Arbeitsstück hinübergehende Werkzeug (die Finne des Hammers oder der Preßplatte in dem einen, die Walze in dem andern Falle) an der Berührungsstelle einen Eindruck, eine Querschnittsverdünnung erzeugt, welche eben die Ursache der rechtwinklig gegen die Richtung des entstehenden Eindruckes stattfindenden Verlängerung des Arbeitsstückes ist.

Beim Hämmern oder Pressen aber muß das Arbeitsstück nach jedem stattgehabten Schlage weitergeschoben werden, der Hammer muß emporgehoben werden und wieder niederfallen, damit ein neuer Schlag erfolge; bei dem Walzen bewirken die Walzen selbsttätig ununterbrochen den Vorschub des Arbeitsstückes, durch den hierbei ausgeübten Zug noch das Strecken befördernd, und der Zeitverlust für das Anheben und Niederfallen des Hammers kommt

---

[1]) Beispiele solcher Vorrichtungen in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

in Wegfall. Aus diesem Grunde ist die Leistungsfähigkeit eines Walzwerkes beim Strecken größer als die des Hammers oder der Presse, und überall, wo die Aufgabe vorliegt, durch rasches Strecken eine Massenerzeugung gleicher Gegenstände zu bewirken, hat das Walzwerk den in früheren Jahrhunderten für diesen Zweck benutzten Hammer verdrängt. Manche Erzeugnisse der Walzwerke, welche für das Bauwesen der Jetztzeit unentbehrlich sind — Eisenbahnschienen, I-Träger, Winkeleisen und viele andere — würden unter dem Hammer oder der Presse überhaupt kaum oder doch in geringerer Vollkommenheit und mit weit größeren Kosten sich herstellen lassen, während das Walzwerk sie mit Leichtigkeit liefert. Die Einrichtung eines Walzwerkes aber ist weniger einfach als die eines Hammers, zumal eines durch Wasserkraft getriebenen Stielhammers, der Raumbedarf größer; daher konnte das Walzwerk seine jetzige Wichtigkeit überhaupt erst dann erlangen, nachdem die geänderten Zeitverhältnisse in den ersten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts mehr und mehr zu einer Massenerzeugung des schmiedbaren Eisens drängten. Das Walzwerk vermag indes nur zu strecken und entweder Bleche oder in Kalibern stabförmige Körper von bestimmten Querschnittsformen zu erzeugen; unregelmäßig gestaltete Körper lassen sich im Walzwerke nicht darstellen. Hier wird der Hammer oder bei großen erforderlichen Leistungen die Presse stets unersetzbar bleiben, ebenso in denjenigen Fällen, wo der wichtigste Zweck der Bearbeitung die Verdichtung des Eisens ist und die Formgebung Nebenzweck. Für die Reinigung der aus lose zusammenhängenden Eisenkörnern bestehenden Schweißeisenluppen von Schlacke und für das Zusammenschweißen der Eisenkörner würde das Walzwerk nicht brauchbar sein, und wenn Flußeisenblöcke einer bis ins Innere sich erstreckenden Verdichtung unterzogen werden sollen, ist die Wirkung eines schweren Hammers und mehr noch einer Presse zur Erreichung des Zweckes günstiger.

Über die inneren Vorgänge beim Walzen sind zahlreiche Untersuchungen angestellt und Theorien entwickelt worden (vergl. Literatur), ohne daß der Gegenstand bis jetzt völlig erschöpfend behandelt worden wäre. Über den Verlauf der stattfindenden Verschiebungen der Teilchen übereinander läßt sich ein Nachweis erhalten, wenn man in dem Walzstücke hindurchgehende Stiftchen in gleichen Abständen voneinander befestigt, so daß sie rechtwinklig gegen die beiden Oberflächen stehen und damit abschneiden[1]). Der Stab wird dann, nachdem ein Teil zwischen den Walzen hindurchgegangen, ein anderer Teil noch zurückgeblieben ist, herausgenommen, wenn er erkaltet ist, der Länge nach zerschnitten, so daß die Schnittebene durch die Stiftchen geht, und die Formveränderung, welche diese erlitten haben, läßt nunmehr die stattgehabten Verschiebungen erkennen. Abb. 269 gibt ein un-

---

[1]) Hollenberg benutzte abgedrehte Stiftchen sehnigen Rundeisens, 6 bis 7 mm stark, welche in genau ausgebohrte Löcher des erhitzten Eisenstabes eingetrieben und somit beim Erkalten fest eingepresst wurden. Der Abstand der Stifte voneinander betrug 25 mm. Durch Ätzen der nach dem Walzen hergestellten Schnittfläche wurden dann die stattgehabten Veränderungen deutlich sichtbar. Vergl. Literatur.

geführes Bild davon. Unter dem Drucke der Walzen entsteht bei *ab*, d. h. vor dem Eintreten des Stabes, eine Verdickung; auch der austretende Stab hat nicht genau die Stärke des Abstandes der beiden Walzenoberflächen voneinander, sondern ist ein wenig dicker, was bei Herstellung von Stäben mit genau vorgeschriebenen Abmessungen Beachtung verdient.

Die Geschwindigkeit des Walzstückes ist beim Eintreten zwischen die Walzen geringer als die der Walzenoberfläche; die Reibung reicht nicht aus, dem Walzstücke die volle Geschwindigkeit zu erteilen, und in der Nähe der Eintrittsstelle gleiten deshalb die Walzenoberflächen auf der Oberfläche des ersteren. Die stattfindende Streckung aber muß eine Beschleunigung der Bewegungsgeschwindigkeit des Walzstückes während des Durchganges hervorbringen, und beim Austreten aus den Walzen ist daher diese Bewegungsgeschwindigkeit regelmäßig größer als die Umfangs-

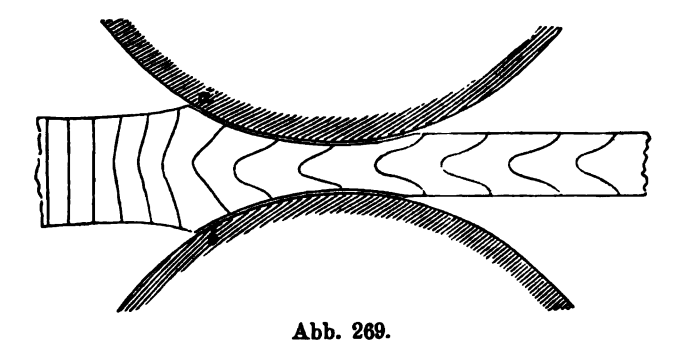


Abb. 269.

geschwindigkeit der Walzen. Je stärker die Streckung, desto stärker ist auch dieses Voreilen des Walzstückes.

b) Die allgemeine Einrichtung der Walzwerke.

Die Anordnung der Teile eines Zweiwalzwerkes ist durch die Abb. 270 veranschaulicht[1]). *AA* sind die Walzenständer, in denen sich die Lager für die Walzenzapfen befinden, *BB*, *BB* zwei Paar Kaliberwalzen. Je zwei zueinander gehörige Walzenständer bilden zusammen ein Walzgerüst und sind oben und unten durch Ankerschrauben miteinander verbunden (die unteren Anker sind in der Abbildung durch die Rippen der Sohlplatte *V* verdeckt und deshalb nicht sichtbar). Ein Walzwerk oder eine Walzstrecke kann unter Umständen nur ein einziges Walzgerüst mit den zugehörigen Walzen enthalten; häufiger sind, wie in der Abbildung, zwei Walzgerüste miteinander gekuppelt, und mitunter enthält die Strecke sogar drei oder noch mehr Walz-

---

[1]) Die Abbildung stellt ein älteres Luppen- oder Rohschienenwalzwerk (zum ersten Auswalzen der zuvor unter dem Hammer vorgeschmiedeten — gezängten — Luppen des Puddelverfahrens) dar. Die allgemeine Anordnung der Teile ist noch heute dieselbe.

gerüste. Die Verbindung der Walzen zweier benachbarter Walzgerüste unter sich, sowie der Walzen mit den Getrieben oder, wie

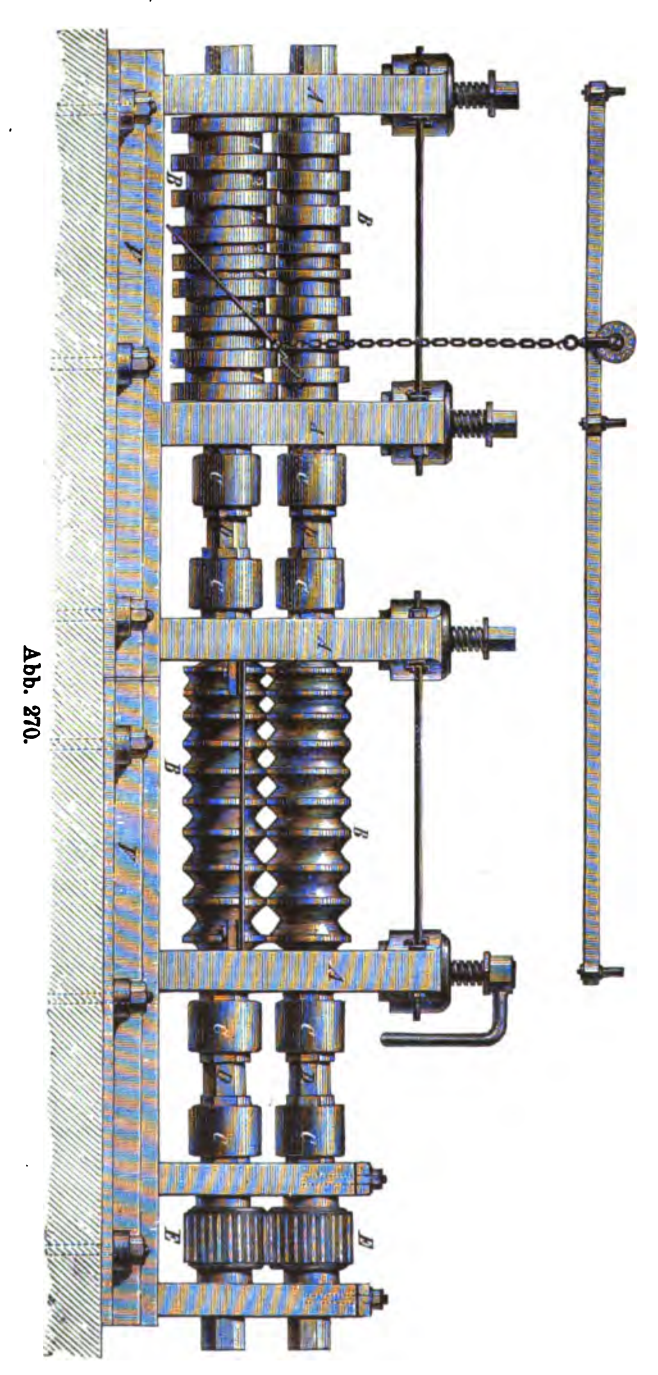


Abb. 270.

man sich häufiger ausdrückt, mit dem Kammwalzen *EE*, von welchen aus die Bewegung auf die Walzstrecke fortgepflanzt wird, erfolgt durch Kuppelungen, bestehend aus Kuppelungsmuffen *C* und Kuppelungsspindeln *D*. Die Einschaltung solcher Kuppelungsspindeln (statt einer unmittelbaren Verkuppelung der betreffenden Teile) ist notwendig, um den Abstand der Walzenachsen voneinander veränderlich zu machen, ohne daß der Abstand der Kammwalzenachsen eine Änderung zu erfahren braucht. Nicht immer besitzen die verschiedenen Walzen, welche in die Walzenständer eingelegt werden und von den Kammwalzen aus ihren Antrieb empfangen, den gleichen Durchmesser; häufig auch wird der Abstand der Walzen voneinander während der Arbeit verändert, damit sie nach dem Durchgange eines Walzstückes einander genähert und dadurch befähigt werden können, an derselben Stelle ihrer Oberfläche wie zuvor eine erneute Querschnittsverdünnung des Walzstückes hervorzubringen. Die Zähne (Kämme) der Kammwalzen würden demnach abbrechen, die Bewegungsübertragung häufig unmöglich werden, wenn man die Walzen unmittelbar mit den Kammwalzen verbinden wollte. Die Schwierigkeit wird durch Einschaltung der Kuppelungen, welche eine gewisse Beweglichkeit besitzen müssen, beseitigt.

Mit der unteren der beiden Kammwalzen wird bei Zweiwalzwerken die Antriebswelle gekuppelt, welche entweder unmittelbar von der Betriebsmaschine aus, oder, sofern mehrere Walzstrecken von derselben Maschine betrieben werden, durch Seil- oder Riemenübertragung ihre Bewegung empfängt. Zwischen Betriebsmaschine und Walzwerk erhält das Schwungrad seinen Platz, zwischen Schwungrad und Kammwalzen gewöhnlich eine Ausrückvorrichtung (Klauenkuppelung) für das Walzwerk. Werden mehrere Walzwerke durch dieselbe Maschine angetrieben, so erhält jedes Walzwerk sein eigenes Schwungrad.

Enthält das Walzwerk nur ein Walzgerüst, so legt man bisweilen die Kammwalzen auf die andere Seite als den Antrieb, so daß die Bewegung von der Antriebswelle zunächst auf die Unterwalze und von dieser auf die untere Kammwalze übertragen wird, um alsdann durch die obere Kammwalze auf die Oberwalze zurückgeleitet zu werden (vergl. unten Abb. 300); auch findet man bei Walzstrecken mit mehreren Walzgerüsten mitunter die Kammwalzengerüste zwischen diesen angeordnet.

Ein Dreiwalzwerk unterscheidet sich in seiner allgemeinen Anordnung von dem abgebildeten Zweiwalzwerke im wesentlichen nur durch das Vorhandensein dreier Walzen in einem Walzgerüst, sowie dreier Kammwalzen. Der Antrieb geschieht von der mittleren oder unteren Kammwalze aus.

Um die Walzen vor starker Erhitzung durch die glühenden Arbeitsstücke zu schützen, ist während der Arbeit eine Kühlung durch Wasser erforderlich. Oberhalb der Walzen wird zu diesem Zwecke eine mit zahlreichen Öffnungen versehene Rinne gelagert, welche von einem höher gelegenen Wasserbehälter aus gespeist wird und zur Berieselung der Walzen dient; von einer vertieft liegenden Wasserleitung aus werden durch aufrecht stehende Rohr-

stutzen mit Hähnen die Walzenzapfen und Lager gekühlt. Gute Schmierung der Walzenzapfen ist ebenfalls notwendig, um Erhitzung zu vermeiden. Man bringt zu diesem Zwecke Stücke tierischen oder mineralischen Fetts an die freiliegenden Stellen der Zapfen zwischen den Lagern, so daß die Zapfen stets davon berührt werden.

c) Die einzelnen Teile des Walzwerkes.

Die Walzen.

Die Abb. 271 stellt eine Walze mit glatter Oberfläche dar; soll sie mit Kalibern versehen werden, so werden diese auf der Drehbank eingearbeitet. Man gießt die Walzen aus Gußeisen oder Stahl; seltener sind geschmiedete Walzen. Den in der Mitte befindlichen Hauptteil *a* der Walze nennt man den Ballen; an diesen schließen sich die beiden in den Lagern der Walzenständer ruhenden Laufzapfen *b*, und die beiden Enden werden durch die aus den Ständern herausragenden Kuppelungszapfen *c* gebildet, auch Kleeblatt oder Treffer genannt, welche zum Über-



Abb. 271.

schieben der Muffe bestimmt sind und gegliederten Querschnitt erhalten, damit sie die Bewegung zu übertragen fähig sind, ohne in der Muffe sich zu drehen.

Die Grundform des Ballens ist in allen Fällen zylindrisch. Beim Gießen grober Kaliberwalzen gibt man von vornherein eine Andeutung der Kaliber, um die Arbeit des Eindrehens abzukürzen und den Metallverlust durch Zerspanung abzumindern; kleinere Kaliber werden vollständig in die glatt gegossenen Walzen eingedreht.

Der Walzendurchmesser muß von der Dicke der zu walzenden Stücke abhängen. Je kleiner der Durchmesser ist, desto rascher ist bei gleichem Drucke die Streckung, desto geringer die seitliche Ausbreitung in der Richtung der Walzenachsen. Die kleinere Walze hat ebenso wie die schmalere Finne beim Schmieden oder Pressen (Seite 111 III) eine geringere Berührungsfläche mit dem Walzstücke, da ihre Oberfläche stärker gekrümmt ist, und der ausgeübte Druck bewirkt demnach an der berührten Stelle eine stärkere Querschnittsverdünnung. Wenn hiernach tunlichst kleine Walzendurchmesser vorteilhaft für den Verlauf der Walzarbeit sein würden, und wenn außerdem das geringere Gewicht kleiner

Walzen für die Verminderung der Reibungsverluste von Vorteil ist, so kommt andrerseits in Betracht, daß das Walzstück um so schwieriger von den Walzen erfaßt und fortbewegt wird, je geringer das Verhältnis des Walzendurchmessers zu der Dicke des Walzstückes ist. Die Tatsache findet folgendermaßen ihre Erklärung.

An der Stelle, wo das Walzstück die Walzenoberfläche berührt, wird ein radialer Druck P (Abb. 272) erzeugt, welcher in eine wagerechte Kraft Q und eine senkrechte Kraft R zerlegt gedacht werden kann. Erstere strebt das Walzstück zurückzustoßen, letztere erzeugt Reibung und dadurch Fortbewegung des Walzstückes. Je kleiner R ist, desto größer fällt Q aus; R verringert sich aber, wie leicht zu ermessen ist, mit abnehmendem Walzendurchmesser, sofern der Walzenabstand voneinander und die Stärke des vor die Walzen gebrachten Walzstückes unverändert bleibt. Es tritt daher eine Grenze ein, wo die erzeugte Reibung nicht mehr ausreichend ist, das Zurückstoßen des Walzstückes zu hindern, und dieses nicht mehr mitgenommen wird. Man macht deshalb den Durchmesser von Walzen für dünnere und mittelstarke Gegenstände mindestens 10 mal so groß als die Stärke des Walzstückes vor dem Durchgange durch die Walzen, oder mindestens 20 mal so groß als seine Stärke nach dem Durchgange, während bei Walzen für sehr starke Gegenstände (Flußeisenblöcke, Panzerplatten) das Verhältnis meistens kleiner ist. Um den letzteren trotzdem das Erfassen des Walzstückes zu ermöglichen, macht man ihre Oberfläche durch Einhauen von Vertiefungen rauh, sofern die Brauchbarkeit der Erzeugnisse nicht dadurch geschädigt wird, insbesondere also in Kalibern, welche nur die erste Formveränderung bewirken sollen.

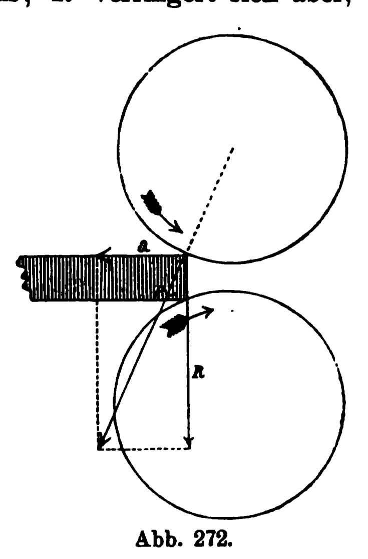


Abb. 272.

Diesen Umständen entsprechend schwankt der Walzendurchmesser bei Eisenwalzwerken zwischen 200 bis 1250 mm.

Versuche, große Walzen hohl zu gießen, um ihr Gewicht zu verringern, sind bis jetzt auf vereinzelte Fälle beschränkt geblieben. Es ist zu befürchten, daß die Widerstandsfähigkeit der Walzenzapfen gegen das Abbrechen durch das Hohlgießen allzusehr beeinträchtigt werden würde.

Je größer der Walzendurchmesser ist, desto größer kann auch die Länge des Ballens sein, ohne daß die Gefahr für das Abbrechen der Walze oder für eine starke Durchbiegung allzunahe tritt. Bei Blechwalzwerken ist diese Länge zugleich von der Breite der zu walzenden Bleche abhängig, und bei sehr breiten Blechen muß dieser Umstand mitunter auch für den Walzendurch-

messer den Ausschlag geben, damit die lange Walze nicht zu schwach ausfalle; bei Kaliberwalzen kommt die Anzahl und Breite der Kaliber in Betracht, welche die Walze erhalten soll. Gewöhnlich schwankt, entsprechend diesen verschiedenen Verhältnissen, die Ballenlänge der Eisenwalzen zwischen 500 mm bei den kleinsten und 4000 mm bei den größten und im Durchmesser stärksten Walzen.

Bei Kaliberwalzen pflegt man die am tiefsten eingeschnittenen Kaliber in die Nähe der Walzenzapfen zu verlegen, wo sie am wenigsten die Festigkeit der Walze gegen das Abbrechen beeinträchtigen.

Den Durchmesser der Laufzapfen nimmt man, wenn D der Durchmesser des Walzenballens ist, zu 0,58 D (bei Grobwalzen) bis 0,70 D (bei Blechwalzen in Hartguß). Die Länge l der Lagerschalen ist durchnittlich $= \frac{D}{2}$; für die gesamte Länge des Laufzapfens gibt man dieser Abmessung noch 10—20 mm zu.

Den Durchmesser der Kuppelungszapfen nimmt man bei kleinen Walzen um einige Millimeter, bei sehr großen Walzen um 1 bis 2 cm kleiner als den der Laufzapfen; die Länge der Kuppelungszapfen beträgt 0,7—0,9 ihres Durchmessers.

Die Walzenständer.

Wie aus den unten folgenden Abbildungen von Walzenständern (Abb. 273, 276, 280 u. a.) ersichtlich ist, bestehen die Walzenständer aus je einem starken gußeisernen oder aus Stahl gegossenen Rahmen, in welchem die Lager der zwei oder drei Walzen in geeigneter Weise befestigt sind.

Das Lager der Unterwalze ruht im Fuße des Ständers und besteht nur aus der unteren Lagerhälfte, da ein Anheben der Unterwalze aus ihrem Lager durch den nur von obenher wirkenden Druck ausgeschlossen ist. Die Oberwalze dagegen und bei Dreiwalzwerken die Mittelwalze erhält Druck von unten, wenn das Walzstück darunter hindurchgeht; ihr Lager muß zweiteilig und gegen das Aufsteigen unter der Wirkung dieses Druckes geschützt, seine Höhenlage aber verstellbar sein. Man benutzt zum Festhalten des Lagers in der richtigen Höhenstellung in der Regel eine durch den Kopf des Ständers hindurchgehende, in den gegebenen Abbildungen erkennbare Druckschraube, welche in einer im Ständerkopfe befestigten Schraubenmutter (in Abb. 273 erkennbar) sich dreht und auf das Lager der Oberwalze drückt. Die Schraube erhält ihre Drehung durch einen aufgesteckten Schlüssel (vergl. Abb. 273) oder durch Getriebe (z. B. bei dem Walzwerke Abb. 281). Damit der Kopf des Ständers durch die eingelassene Schraubenmutter nicht geschwächt werde, gibt man ihm an dieser Stelle eine entsprechende Verdickung, wie z. B. in Abb. 273 erkennbar ist. Zwischen der Druckschraube und dem Lager schaltet man, wie ebenfalls aus den Abbildungen zu ersehen ist, ein hohles Gußstück, die Brechkapsel oder den Brechtopf, ein, welches die Bestimmung hat, bei eintretenden heftigen Stößen zertrümmert zu

werden und dadurch wertvollere Teile, insbesondere die Walzen, vor dem Bruche zu schützen.

Die Lagerschalen, in welchen die Walzenzapfen sich drehen, werden aus Rotguß, Weißguß oder auch Hartblei gefertigt[1]).

Hinsichtlich der Art und Weise, wie die Zapfenlager der Ober- und Mittelwalze von unten her gestützt werden, lassen sich zwei Gruppen von Walzenständern unterscheiden.

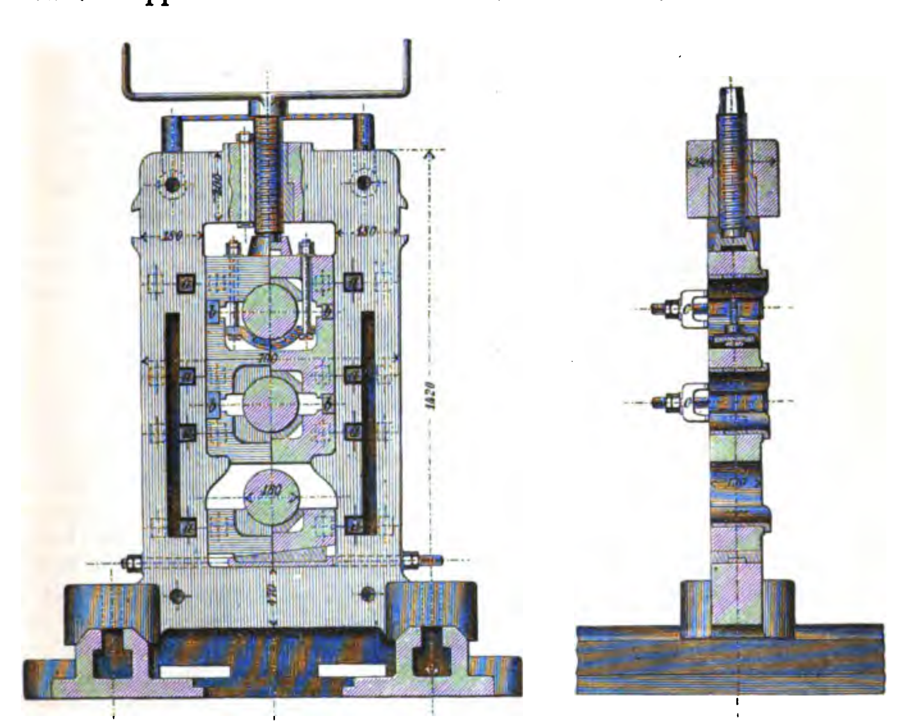


Abb. 273. Abb. 274.

Walzenständer für stetige Lagerung.



Abb. 275.

Diese Walzenständer kommen für die meisten Kaliberwalzen in Anwendung. In der Regel dient ein Kaliber nur zur Ausbildung einer einzigen bestimmten Querschnittsform; die Walzen müssen also der Form des Kalibers entsprechend aufeinander schließen, die Druckschraube sichert ihre richtige Einstellung, und eine Verstellung der Walzen gegeneinander, nachdem sie ihre richtige Lage gegeneinander erhalten haben, findet nicht mehr statt. Die Walzen-

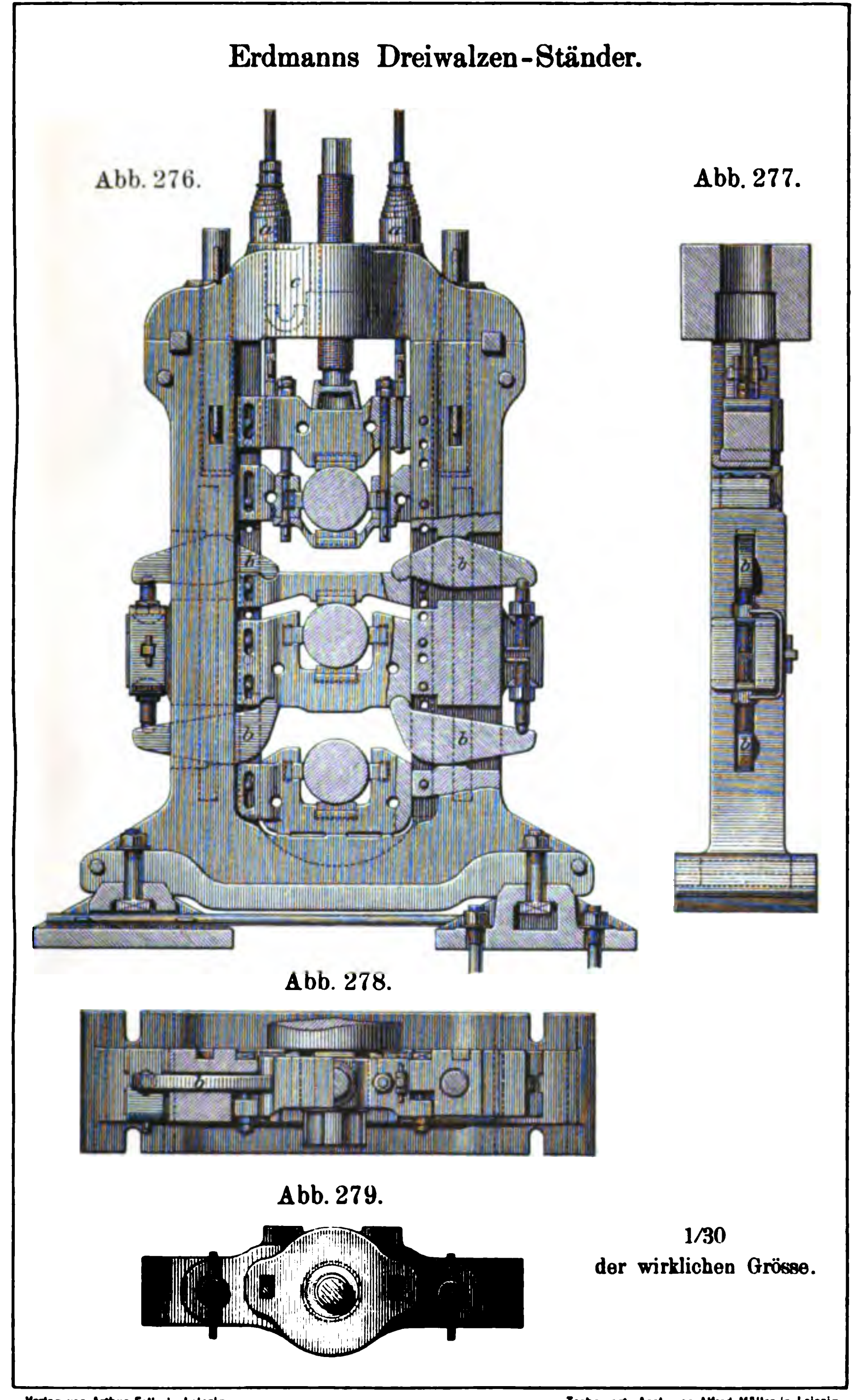
[1]) Über die Zusammensetzung dieser Legierungen: Ledebur, Die Legierungen, 3. Aufl., Seite 117, 149, 156.

ständer dieser Art können sowohl zur Aufnahme von zwei als von drei Walzen bestimmt sein; der letztere Fall ist in der Jetztzeit häufiger. Bei Dreiwalzenständern ist auf eine solche Anordnung der Lager Bedacht zu nehmen, daß der beim Hindurchgehen des Walzstückes zwischen zwei Walzen erfolgende Druck auf die Druckschraube oder den Ständer übertragen werde, ohne daß auch der Zapfen der dritten Walze in Mitleidenschaft gezogen und dadurch unnötigerweise Reibung erzeugt wird.

In Abb. 273 bis 275 auf Seite 129 ist ein nach diesen Grundsätzen eingerichteter Dreiwalzenständer eines Feineisenwalzwerkes abgebildet[1]). Mit dem mittleren Getriebe dieses Walzwerks ist, wie bei der Mehrzahl der Dreiwalzwerke, die Antriebswelle gekuppelt; man stellt in diesem Falle die Walzenständer von vornherein so auf, daß die Achse der Mittelwalze, des zugehörigen Getriebes und der Antriebswelle eine gerade Linie bilden, also in gleicher Höhe liegen. Das Lager der Mittelwalze bekommt demnach eine unveränderliche Lage und wird bei dem abgebildeten Walzenständer von zwei angegossenen Vorsprüngen getragen. Das offene Lager der Unterwalze ruht dagegen auf einem Stahlkeile, welcher verschiebbar gemacht ist und mit Hilfe der beiden in Abb. 273 sichtbaren Schrauben mit Muttern festgestellt werden kann. Bei Abweichungen in dem Durchmesser der einzulegenden Walzen läßt sich auf diese Weise das Lager etwas höher oder tiefer einstellen. Auf der obern Hälfte des Mittelwalzenlagers ruht das Oberwalzenlager; Stahlkeile *bb*, *bb*, welche durch Schrauben mit Spannbügel *cc* (Abb. 274) angezogen werden können, dienen zur richtigen Einstellung beider Lager und übertragen den Walzendruck durch das Oberwalzenlager auf die Druckschraube, sowohl wenn unten, als wenn oben gewalzt wird. Die untere Hälfte des Oberwalzenlagers ist durch Bolzen mit Schrauben frei an der oberen Hälfte aufgehängt, so daß auch beim Anziehen der Druckschraube die Zapfenreibung nicht vermehrt wird. Die Einstellung der Lager in der Richtung der Walzenachsen erfolgt durch Spannbügel *aa* (Abb. 275, Grundriß des Walzenständers), deren einer Schenkel sich gegen den Ständer legt, während der andere gegen das Lager drückt und eine durch den Ständer hindurchgehende Schraube mit Kopf und Mutter zum Anziehen dient. In Abb. 273 sind die Bügel auf der entgegengesetzten Seite gedacht und deshalb nicht sichtbar; *aa* bezeichnen die Schraubenköpfe, links und rechts davon sind durch Vierecke in Punkten die Stellen bezeichnet, wo die Füße der Bügel aufsetzen. Vor Verschiebung nach der den Bügeln gegenüberliegenden Seite sind die Lager durch die Walzen selbst gesichert.

In etwas anderer Weise ist bei dem in Abb. 276 bis 279 dargestellten Erdmannschen Dreiwalzenständer[2]) die Aufgabe gelöst, den zwischen den Walzen erzeugten Druck durch den Ständer statt durch den dritten, leergehenden Walzenzapfen auf die Druck-

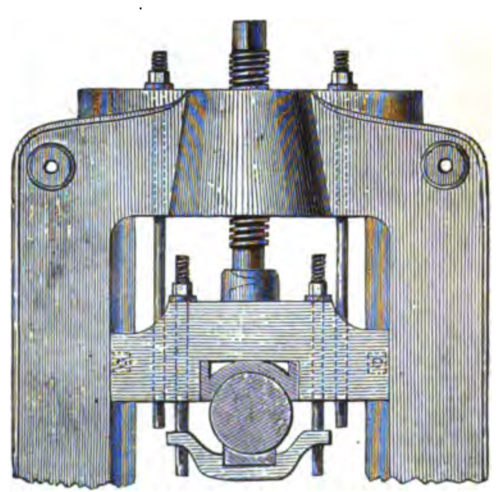
[1]) „Stahl und Eisen" 1882, Heft 5, Tafel II.
[2]) Von der Duisburger Maschinenbau-Aktiengesellschaft, vormals Bechem & Keetman, gebaut.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

schraube zu übertragen. Bei dem abgebildeten Walzenständer ist die Unterwalze mit der Antriebswelle gekuppelt und deshalb im Ständer fest gelagert. Das Oberwalzenlager ist durch Bolzen mit Schrauben am Ständerkopfe aufgehängt; um jedoch ein Anziehen der Druckschrauben zu ermöglichen, sind Federn *aa* unter die Muttern jener Schrauben gelegt. Das aus zwei Hälften bestehende Lager der Mittelwalze wird von zwei Paar Stützhebeln *bb*, *bb* in seiner Lange festgehalten, welche durch Schlitze des Ständers hindurchgehen. Ihre Enden ruhen, wie Abb. 276 erkennen läßt, auf Schrauben, die innerhalb zweier an den Ständer angegossener Führungen verstellbar sind. Die Verstellung wird durch Drehung der Schraubenmuttern bewirkt. Auf diese Weise läßt sich das Lager mit Genauigkeit höher oder tiefer einstellen, und der Zapfendruck wird durch den Stützhebel auf den Ständer übertragen. Ein über die Schraubenmuttern geschobener Bügel (in Abb. 275, 276 links und in Abb. 277 erkennbar) verhindert ihre selbsttätige Drehung.


Abb. 280.

Soll nicht die Unterwalze, sondern die Mittelwalze mit der Antriebswelle verbunden werden, so legt man das Unterwalzenlager statt des Mittelwalzenlagers auf Stützhebel und läßt das letztere auf angegossenen Vorsprüngen (wie bei dem Walzenständer Abb. 273) ruhen, während es von oben her ebenso wie in Abb. 276 festgehalten wird.

Die Einstellung der Lager in der Achsenrichtung wird durch Schrauben bewirkt, welche, wie im Grundrisse Abb. 278 erkennbar ist, durch angegossene Leisten der Ständer hindurchgehen.

Die Abbildungen können zugleich als Beispiel eines nicht in einem, sondern in zwei Stücken gegossenen Ständers (Kappenständers) dienen. Der obere Teil *c* (die Kappe) ist durch Bolzen mit Splinten, wie Abb. 276 erkennen läßt, mit dem Hauptteile verbunden. Das Auswechseln der Walzen und Einbaustücke wird hierdurch erleichtert; aber man zieht trotzdem häufig die im ganzen gegossenen Rahmen vor, weil hier die Gefahr vermieden ist, daß die Kappe unter dem Einflusse der stattfindenden Erschütterungen sich lockere.

Bei Zweiwalzwerken dieser Gruppe lagert man die Unterwalze im Ständer, wie bei dem Dreiwalzenständer Abb. 273, und hängt das Oberwalzenlager an Schrauben auf, wie in Abb. 280 dargestellt ist. Zur Einstellung in der Achsenrichtung dienen bei dem hier abgebildeten Ständer ebenfalls, wie bei dem

Erdmannschen Dreiwalzenständer, zwei (in Punkten gezeichnete) durch angegossene Leisten hindurchgehende Schrauben.

Walzenständer mit entlasteter Oberwalze für veränderliche Lagerung.

Wenn Bleche gewalzt werden sollen, so muß nach dem Durchgange des Walzstückes, sofern dieses eine erneute Querschnitts-

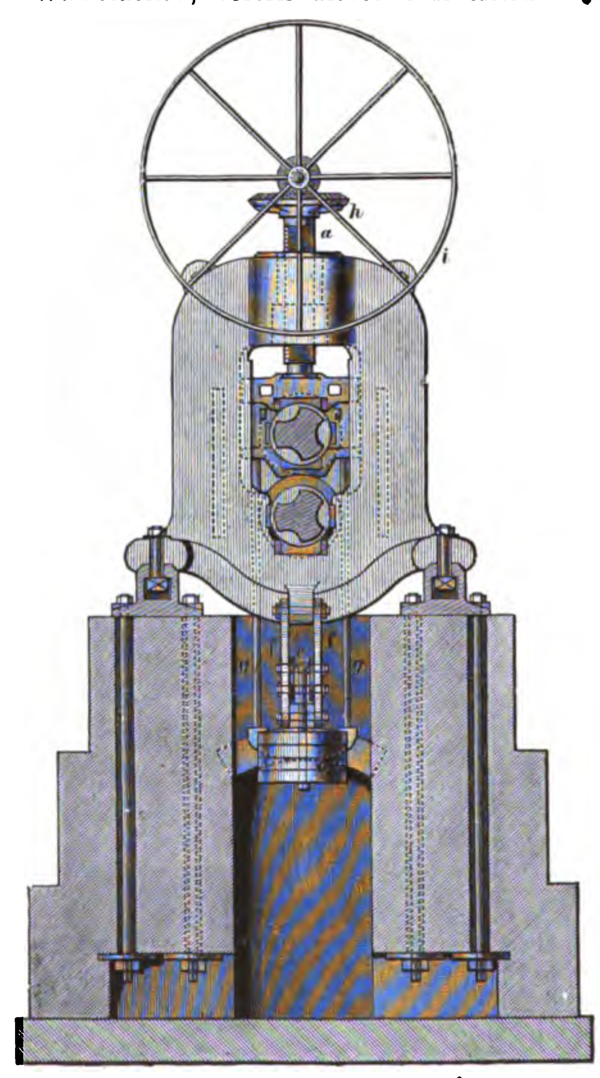


Abb. 281.

verdünnung erfahren soll, eine Näherung der Walzenoberflächen, also eine Verstellung der Walzen gegeneinander, stattfinden. Dasselbe ist der Fall bei gewissen für die erste Verdichtung und Streckung von Flußeisenblöcken bestimmten Kaliberwalzen (Blockwalzen), deren Kaliber mehrmals für Hindurchführung desselben

Arbeitsstückes benutzt werden, indem man sie durch Verstellung der Walzen nach jedem Durchgange verkleinert. Bei Walzwerken dieser Gruppe ist demnach jene zuvor beschriebene Einrichtung der Walzenständer mit stetiger Lagerung nicht anwendbar; während

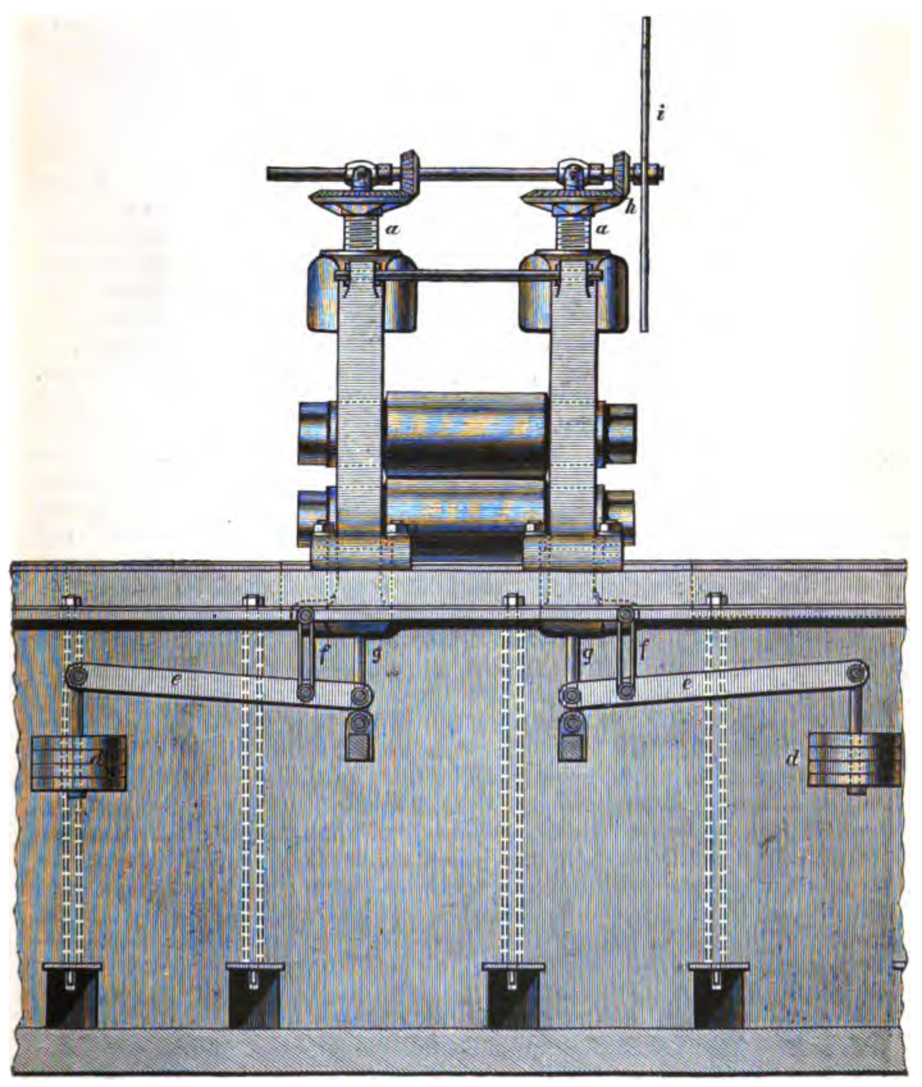


Abb. 282.

die Walzen laufen, muß ihre Verstellung gegeneinander möglich sein. Man löst diese Aufgabe, indem man die Oberwalze „entlastet“, ihr Gewicht durch Gegendruck ausgleicht, so daß sie schwebend erhalten wird und durch Anziehen oder Lösen der

Druckschraube der darunter befindlichen Walze genähert oder von ihr entfernt werden kann.

Die Einrichtung kommt vorzugsweise bei Zweiwalzwerken in Anwendung, doch sind auch Dreiwalzwerke dieser Art nicht selten.

In Abb. 281 und 282 auf Seite 132 und 133 III ist der Walzenständer eines Blechwalzwerkes mit zwei Walzen dargestellt[1]). Das Lager der Oberwalze wird hier von je einem Paar senkrecht stehender kräftiger Bolzen *gg* getragen, welche durch Bohrungen des Unterwalzenlagers und Ständerfußes hindurchgehen und mit ihrem unteren Ende auf einem in Abb. 281 sichtbaren, in Abb. 282 im Schnitte gezeichneten Querhaupte aufruhen. Letzteres ist in der Mitte seiner Länge vermittelst eines Gelenkes an einen Hebel *e* (Abb. 282) angeschlossen, welcher mit Hilfe der Bügel *f* am Ständer aufgehängt ist und an dem andern, längern Arme das Gegengewicht *d* trägt, aus kreisrunden, mit radialem Schlitze versehenen Gußeisenscheiben gebildet, so daß man, dem Gewichte der Walze entsprechend, durch Auflegen oder Abnehmen von Scheiben leicht die Belastung vergrößern oder verringern kann.

Jeder der beiden zueinander gehörigen Walzenständer besitzt, wie Abb. 282 zeigt, sein eigenes Gegengewicht; durch Lösen oder Anziehen der Druckschrauben *aa* wird die Verstellung der Walzen gegeneinander bewirkt. Damit aber die Achse der Oberwalze bei dieser Verstellung genau parallel zur Achse der Unterwalze bleibe, ist es notwendig, daß beide Druckschrauben stets gleichzeitig um das gleiche Maß bewegt werden. Zu diesem Zwecke sind auf ihren oberen Enden Winkelgetriebe *hh* befestigt, welche durch zwei mit ihnen im Eingriffe stehende, auf einer gemeinschaftlichen wagerechten Welle befindliche Winkelgetriebe in der einen oder andern Richtung gedreht werden können. Die Welle erhält ihren Antrieb von Hand mit Hilfe des an dem Ende befestigten Rades *i*, bei schweren Walzwerken von einer zu ebener Erde stehenden Dynamomaschine oder Dampfmaschine aus (vergl. z. B. unten die Abbildungen 291, 311 und 312), oder durch einen auf den Walzenständern gelagerten Wasserdruckzylinder (Abb. 283 bis 285). Die Lager der wagerechten Welle aber müssen, damit die Bewegungsübertragung in jedem Höhenstande der Druckschrauben stattfinden kann, mit diesen gehoben und gesenkt werden. Bei dem abgebildeten Walzwerke ist dieser Zweck dadurch erreicht, daß man ihre Lager mit Zapfen auf dem Scheitel der Druckschrauben befestigte. Letztere können sich um die Zapfen drehen, ohne daß diese die Drehung mitmachen. Eine etwas abweichende Einrichtung für die Einstellung der Druckschrauben ist unten in Abb. 300 veranschaulicht. Um das Maß der Einstellung der Druckschrauben jederzeit sofort erkennbar zu machen, bringt man nicht selten, wie unten in Abb. 291 und 292 ersichtlich ist, unter dem Getriebe auf dem Kopfe der Druckschraube einen Zylinder mit herumlaufender Skala und auf den Ständer einen Zeiger an.

Statt der Entlastung der Oberwalze durch Gewichte mit Hebelübersetzung und statt der Verstellung der Druckschrauben mit

[1]) Nach Iron Age 1893, Seite 557.



Verlag von Arthur F

Hilfe eines Handrades wendet man bei schweren Walzen häufig Entlastung und Verstellung durch Wasserdruck an. Ein in dieser Weise eingerichtetes Walzgerüst eines Blockwalzwerkes mit Kaliberwalzen für schwere Flußeisenblöcke ist in Abb. 283 bis 285 dargestellt. Jedes der beiden Oberwalzenlager ruht auch hier auf zwei senkrecht stehenden, durch die Ständer hindurchgehenden Bolzen *aa*, welche sich unten auf starke Querstücke *bb* aufsetzen, und diese werden von den Kolben je eines Wasserdruckzylinders *cc* getragen. Von einem an beliebiger Stelle des Gebäudes angeordneten, senkrecht stehenden Zylinder mit belastetem Kolben aus erhalten die beiden Zylinder *cc* ihr Druckwasser; die Stärke des Druckes, entsprechend dem Gewichte der eingelegten Walzen, wird durch stärkere oder schwächere Belastung jenes Kolbens geregelt. Auf den beiden zueinander gehörigen Ständern, von dem einen zu dem andern hinüberreichend, liegen unmittelbar übereinander die zwei für die Einstellung der Druckschrauben bestimmten, in einem Stücke gegossenen Wasserdruckzylinder *d* und *e*, ersterer etwas größer im Durchmesser und mit starker Kolbenstange *f* (rechts) versehen, zur Abwärtsdrehung der Druckschrauben und Ausübung des Druckes beim Walzen dienend, letzterer kleiner im Durchmesser mit schwächerer Kolbenstange *g* (links), für die Aufwärtsdrehung bestimmt. Von einem Sammler mit belastetem Kolben aus empfangen beide Zylinder durch eine Leitung ihr Druckwasser, und zwar der Kolben des Zylinders *d* von links, der Kolben des Zylinders *e* von rechts. Steht also ersterer unter Druck, während das in *e* befindliche Wasser ausfließen kann, so erfolgt Bewegung nach rechts, und umgekehrt. Beide Kolbenstangen sind, wie in Abb. 285 ersichtlich ist, mit einer gemeinschaftlichen Zahnstange verbunden, welche mit den Kolben in wagerechter Richtung bewegt wird und im Eingriffe mit den auf den oberen Enden der Druckschrauben befestigten Getrieben steht. Die Getriebe besitzen, wie in Abb. 283 und 284 erkennbar ist, eine solche Höhe, daß in jedem Stande der Druckschrauben der Eingriff der Zahnstange gesichert bleibt.

Bei Dreiwalzwerken dieser Gruppe muß auch die Mittelwalze verstellbar gemacht werden, damit das Walzstück eine wiederholte Querschnittsverdünnung erfahren kann. Ist ihr Gewicht nicht erheblich, so kann man von einer Gewichtsausgleichung absehen; durch das Walzstück selbst wird sie emporgehoben, wenn dieses darunter hindurchgeht. In dieser Weise ist das in Abb. 286 bis 288 dargestellte, zum Walzen von Feinblechen bestimmte L a u t h sche Walzwerk eingerichtet[1]). Der Durchmesser und demnach das Gewicht der Mittelwalze ist kleiner als das der Ober- und Unterwalze, damit das Anheben der ersteren durch das Walzstück möglich sei und sie nicht mit allzu heftigem Stoße auf die Unterwalze niederfalle, wenn das Walzstück unter ihr hindurchgegangen ist. Die Oberwalze ist durch Tragstangen, welche auf Hebel mit Gegengewichten sich stützen, in der gleichen Weise entlastet wie

[1]) Von dem belgischen Ingenieur L a u t h im Anfange der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts gebaut und seitdem häufig benutzt.

die Oberwalze des Walzwerkes Abb. 281 und 282. Die Mittelwalze ist Schleppwalze und wird durch die Reibung des Arbeitsstückes mitgenommen. Geht das letztere zwischen Unter- und Mittelwalze hindurch, so wird der Druck durch die Mittel- und Oberwalze, welche dicht aufeinander liegen, auf die Druckschrauben übertragen; beim Hindurchgehen zwischen Mittel- und Oberwalze ruht die Mittelwalze auf der Unterwalze und pflanzt auf diese den Druck fort. Bei größeren derartigen Walzwerken kuppelt man die Ober- und Unter-

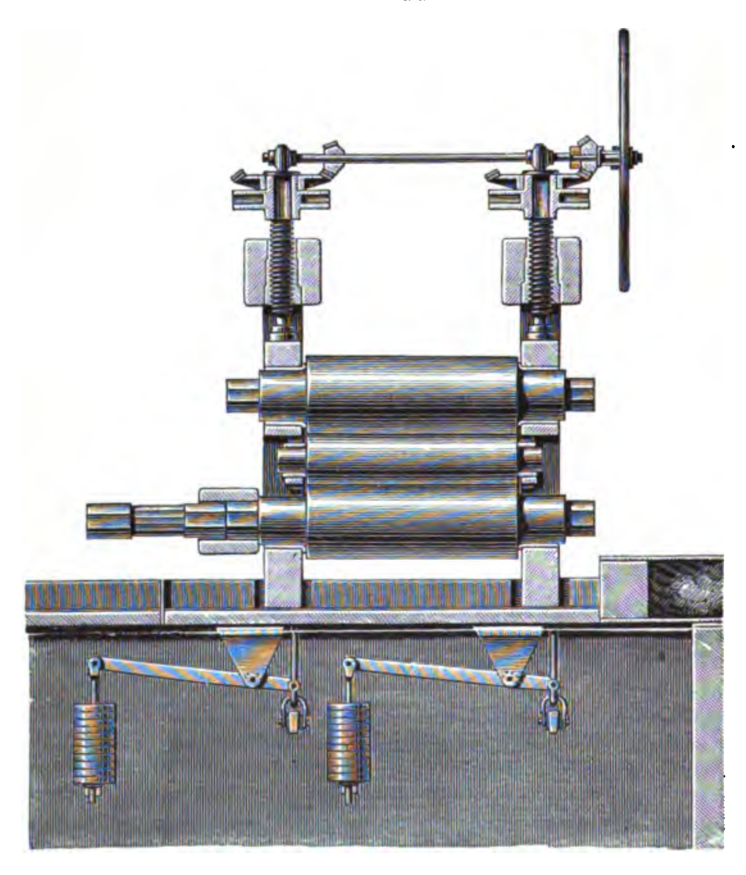


Abb. 286.

walze mit dem oberen und unteren dreier in Eingriff stehender Getriebe; bei kleineren Walzwerken, wie dem in der Abbildung dargestellten, läßt man die Getriebe ganz fehlen, kuppelt die Unterwalze mit der Antriebswelle der Betriebsmaschine und läßt auch die obere Walze als Schleppwalze laufen. Beim Hindurchgehen des Walzstückes zwischen Mittel- und Oberwalze muß also die erstere durch die Reibung der Unterwalze mitgenommen werden, um die solcherart empfangene Bewegung auf das Walzstück zu übertragen.

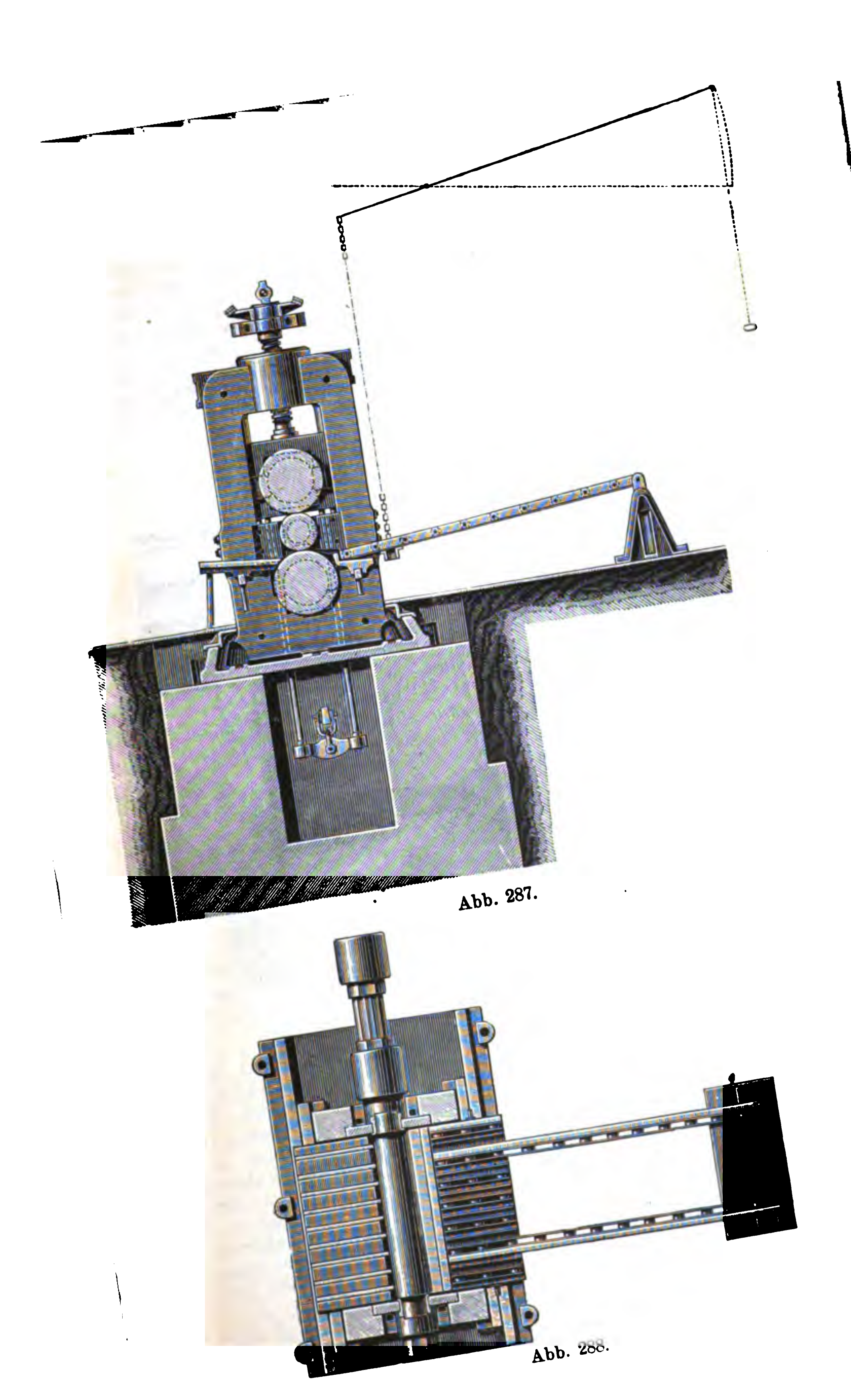


Abb. 287.

Abb. 288.

Mit dem Durchmesser der Ober- und Unterwalze muß jedoch auch derjenige der Mittelwalze wachsen, und bei der Zunahme von deren Gewicht tritt bald die Notwendigkeit ein, auch sie, wie die Oberwalze, mit Gewichtsausgleichung zu versehen. Die Abbildung 289 und 290, das Lauthsche Blechwalzwerk eines amerikanischen Eisenwerkes darstellend [1]), lassen erkennen, wie die Aufgabe zu lösen ist. Die Oberwalze ist durch Hebel mit Gegengewichten in derselben Weise entlastet wie die Oberwalze des Walzwerkes Abb. 286, die Mittelwalze durch einen Wasserdruck-

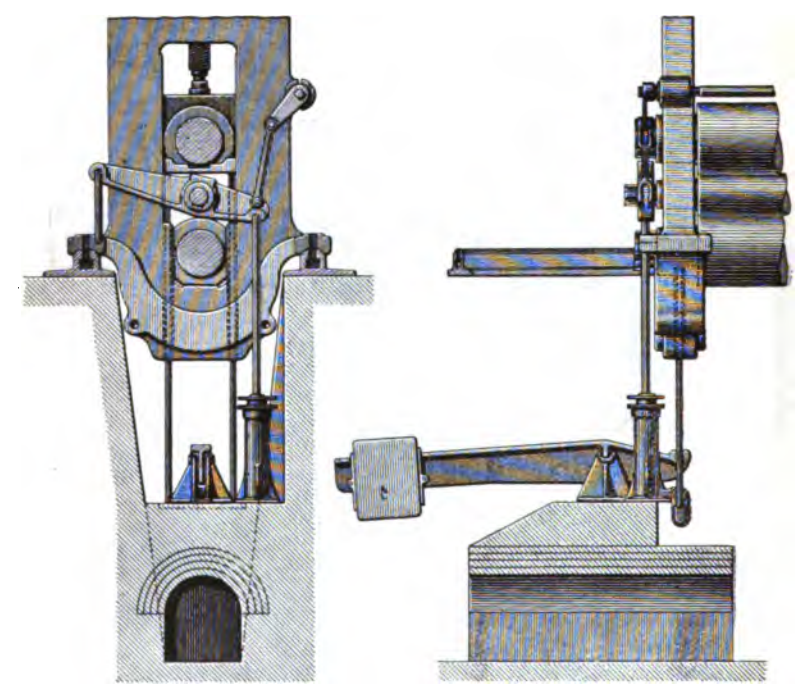


Abb. 289. Abb. 290.

zylinder. Da für die Aufstellung des letzteren senkrecht unter den Walzen der Platz fehlt, steht er seitlich und wirkt auf einen Hebel, in welchem der Zapfen der Mittelwalze gelagert ist. Der Durchmesser der Ober- und Unterwalze beträgt 864 mm, der Mittelwalze 508 mm; die Länge sämtlicher Walzen 3250 mm.

Auch das unten in Abb. 311 und 312 dargestellte Walzwerk ist mit entlasteter Mittel- und Oberwalze versehen, und zwar dient hier für beide Walzen Wasserdruck zur Entlastung. Seltener als für Blechdarstellung baut man zum Blockwalzen Dreiwalzwerke mit verstellbaren und demnach entlasteten Walzen. Bei einem derartigen von Fritz entworfenen Dreiwalzwerke waren die Ober-

[1]) Nach „Stahl und Eisen" 1897, Seite 216.

und die Unterwalze durch Gegengewichte entlastet, das Getriebe der festliegenden Mittelwalze war mit der Antriebswelle gekuppelt. Die Verstellung der Oberwalze erfolgte in der nämlichen Weise, wie bei gewöhnlichen Blechwalzwerken, d. h. vermittelst je einer Druckschraube oberhalb jedes Zapfens, deren Mutter in dem Ständerkopfe befestigt war; eine ebensolche Druckschraube ging durch den Ständerfuß nach unten und ermöglichte die Verstellung der Unterwalze [1]).

Wenn man in der Jetztzeit Dreiwalzwerke zum Blockwalzen benutzt, zieht man es vor, die Kaliber unverstellbar zu machen, also die Walzen mit stetiger Lagerung, wie oben beschrieben wurde, zu versehen.

Walztische und Überhebvorrichtungen.

Zur Unterstützung des Walzstückes beim Walzen dienen Walztische, in ihrer einfachsten Form aus je einer Eisenplatte bestehend, welche an ihrer einen Seite sich gegen die Walze legt und von dieser getragen wird, während sie an der gegenüberliegenden Seite auf einem Eisenstabe ruht, welcher quer von einem Walzenständer zum andern hinübergeht und in eingegossenen Nuten der Walzenständer seine Auflage erhält. Durch untergeschobene Holz- oder Eisenstäbe wird seine Höhenlage geregelt. Bei dem Walzenständer Abb. 273 auf Seite 129 III sind auf beiden Seiten die eingegossenen senkrechten Nuten sichtbar; auch die sonstigen gegebenen Abbildungen von Walzenständern lassen zum Teil diese Nut erkennen. Abb. 287 (Seite 137 III) zeigt an der linken Seite der Unterwalze einen Walztisch der beschriebenen Art.

Sind diese Walztische für Kaliberwalzen bestimmt, so formt man ihre den Walzen zugekehrte Kante der Form der Kaliber entsprechend; nicht selten bringt man auch auf dem an der Vorderseite der Walzen (der Eintrittsseite) befindlichen Tische Führungen in Form von Rinnen oder Büchsen an, welche in die Kaliber münden, um die rasche und sichere Einführung des Walzstückes in das Kaliber zu ermöglichen. Besonders sind bei Schnellwalzwerken für feinere Eisensorten solche Führungen unentbehrlich.

Hat das Walzstück aber ein einigermaßen beträchtliches Gewicht oder bedeutende Abmessungen, so wird der Walztisch mit eingelassenen Rollen versehen, welche ein wenig über seine Oberkante emporragen, so daß auf ihnen das Walzstück gleitet. Außerdem sind alsdann bei den Walzwerken, welche ununterbrochen in der gleichen Richtung laufen (also nicht Kehrwalzwerke sind), gewöhnlich Vorrichtungen zur Erleichterung des Hebens und Senkens des Walzstückes erforderlich, was jedesmal stattfinden muß, wenn das Walzstück die Walzen verlassen hat und nun entweder — bei Zweiwalzwerken — über die Oberwalze zurückgegeben oder — bei Dreiwalzwerken — in der anderen Höhenlage zurückgewalzt werden soll.

---

[1]) Abbildung des Fritzschen Walzwerkes: The Journal of the Iron and Steel Institute 1874 II. Vergl. auch „Stahl und Eisen" 1897, Seite 186.

Zum Überheben kurzer, nicht sehr schwerer Walzstücke — gezängter Luppen der Schweißeisendarstellung, welche zu Rohschienen ausgewalzt werden sollen, kleinerer Flußeisenblöcke — bedient man sich häufig nur einer Einrichtung, welche in Abb. 270 auf Seite 124 III dargestellt ist. Ein eiserner Hebel hängt an einer Kette und dient zum Ergreifen und Anheben des Walzstückes; die Kette ist an einer Rolle befestigt, welche auf einer in der Höhe angebrachten Schiene läuft und sich leicht nach jeder beliebigen Stelle des Walzwerkes befördern läßt. Hängt man jedoch den Hebel mit der Kette und Rolle an einem Träger auf, welcher nicht parallel, sondern rechtwinklig gegen die Walzstrecke gerichtet, selbst aber an seinen Enden mit Stangen und Rollen an zwei zu der Walzstrecke parallelen Trägern fahrbar aufgehangen ist, und verbindet man das Ganze mit einem darüber befindlichen, um wagerechte Achsen schwingenden Hebelwerke, welches von einem zu ebener Erde befindlichen Dampf- oder Wasserdruckzylinder durch Vermittelung von Zugstangen bewegt werden kann, so erhält man die Möglichkeit, das Arbeitsstück mit Hilfe des Hebelwerkes zu heben und zu senken, parallel zu den Walzen oder (beim Herauskommen oder Hineinbringen) rechtwinklig dagegen zu bewegen. Man nennt eine solche Vorrichtung eine Wippe oder Dachwippe (wegen der üblichen Lagerung im Dachgebälk). Sie fand früher häufige Benutzung auch beim Walzen von Eisenbahnschienen, Trägern und anderen schwereren Gegenständen, während bei Neuanlagen fast immer bewegliche Rollentische an ihre Stelle getreten sind. Die Abbildungen 287 und 288 auf Seite 137 III zeigen rechts einen solchen Rollentisch einfachster Art, zur Aufnahme des zwischen Unter- und Mittelwalze herauskommenden Walzstückes und Anheben auf die Höhe der Mittelwalzenoberkante bestimmt, damit es zwischen Mittel- und Oberwalze zurückgewalzt werden kann. Er ist gitterartig aus Eisenstäben zusammengesetzt, zwischen welchen die Rollen eingelassen sind; an dem hinteren Ende ruht er mit Zapfen in Lagern, während das vordere Ende mit Hilfe zweier gekuppelter Hebel, wie Abb. 287 erkennen läßt, gehoben werden kann.

Das abgebildete Walzwerk ist nur zur Anfertigung von Feinblechen von geringem Gewichte bestimmt, und die Einrichtung des Walztisches genügt hierfür vollkommen. Das an der linken Seite des Walzwerkes zwischen Ober- und Mittelwalze zurückkommende Walzstück wird mit einer Zange erfaßt und fällt von selbst, wenn es die Walzen verlassen hat, auf den hier befindlichen festen Tisch nieder, ohne die Kraft des Arbeiters übermäßig zu beanspruchen oder Stöße zu verursachen. Beim Walzen schwerer Arbeitsstücke müssen dagegen statt des einen beweglichen Walztisches deren zwei vorhanden sein, welche gleichzeitig gehoben und gesenkt werden. Die Bewegung kann, wie die des einen Walztisches in Abb. 287, von Hand mit Hilfe eines Hebels geschehen; häufiger dient ein Dampf- oder Wasserdruckzylinder hierfür, welcher vertieft unterhalb des Tisches oder in der Höhe angebracht ist. Auch elektrischer Antrieb findet in neuester Zeit hierfür Benutzung[1]).

---

[1]) Beispiel hierfür: „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1081.

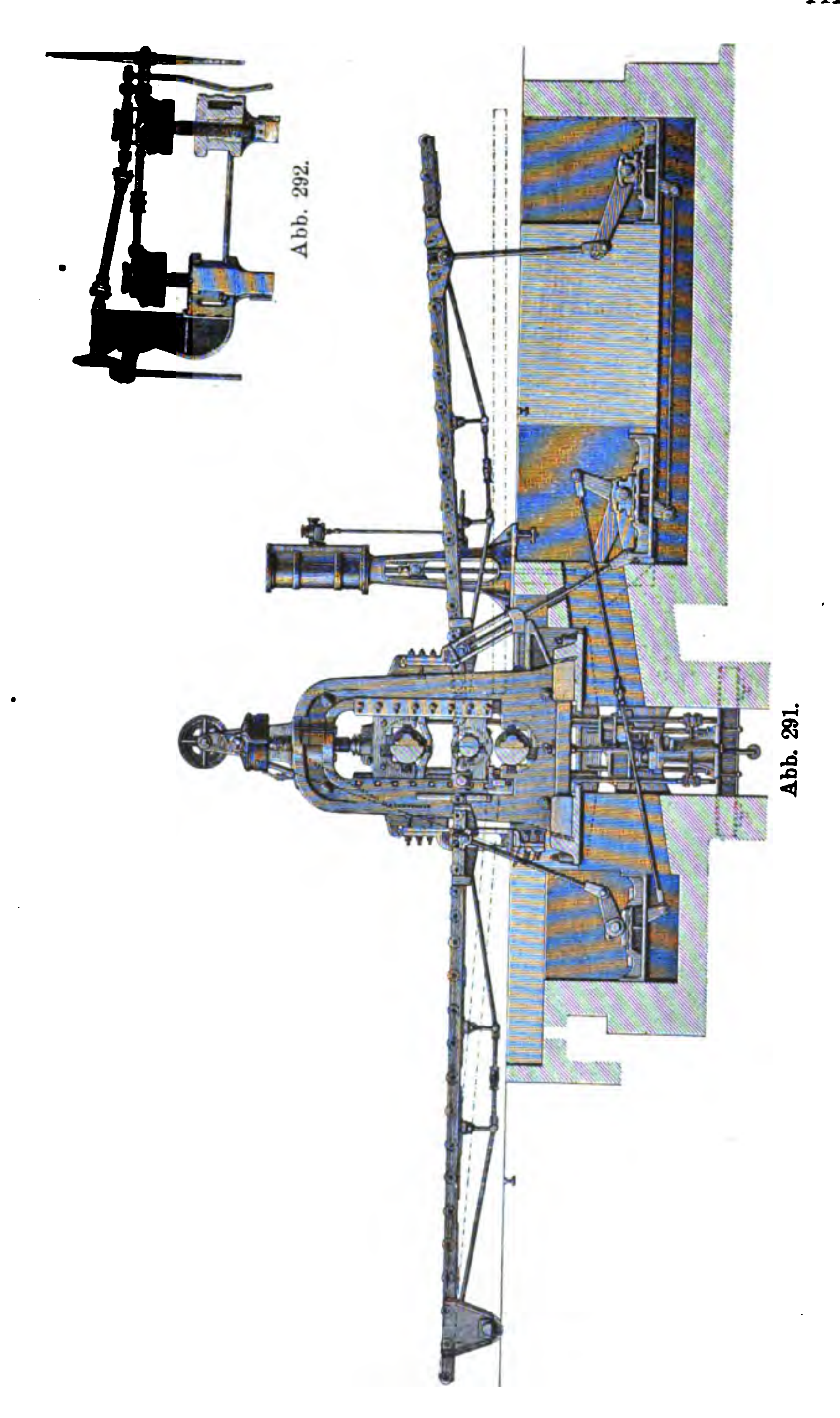


Abb. 292.

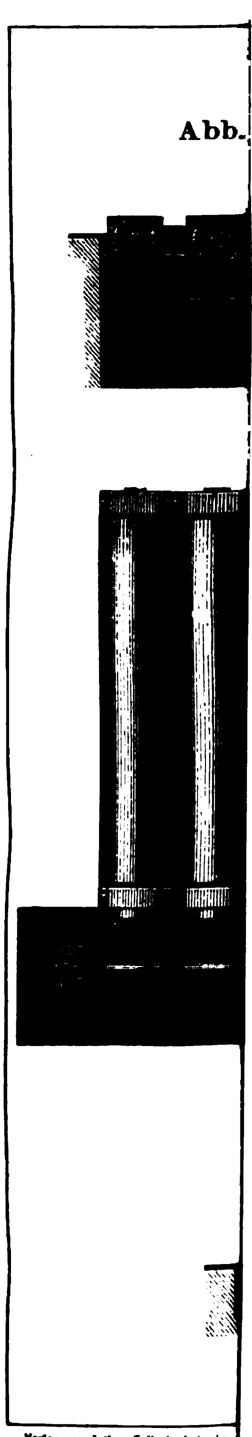
Abb. 291.

Die Abbildungen 291 und 292 zeigen den Ständer eines größeren von der Duisburger Maschinenbau-Aktiengesellschaft gebauten Lauthschen Blechwalzwerkes mit den zwei durch Dampfkraft bewegten Rollentischen. Man gewahrt rechts von dem Ständer den stehenden Dampfzylinder, dessen Kolbenstange in der leicht erkennbaren Art und Weise die unter der Flur gelagerten Hebel und durch Vermittelung der an diese angeschlossenen Zugstangen beide Tische bewegt. Die Abb. 291 zeigt den höchsten Stand des Dampfkolbens und der Tische. Die Stellung ist diejenige, bei welcher das von rechts kommende Walzstück zwischen Ober- und Mittelwalze hindurchgeführt und von dem Tische links aufgenommen wird. Gibt man dem unter dem Kolben befindlichen Dampfe Auslaß, so gehen der Kolben und mit ihm die Tische abwärts, um die durch Punkte gezeichnete Stellung einzunehmen. Das Walzstück geht nun von dem Tische links zwischen Mittel- und Unterwalze hindurch und wird von dem Tische rechts aufgenommen, um dann, sobald dieser durch Zulassen frischen Dampfes unter den Kolben wieder gehoben ist, abermals nach links befördert zu werden. Der Bestimmung der beiden Tische gemäß wird der links befindliche nur an der dem Walzwerke zugekehrten Seite gehoben und schwingt an der Rückseite um eine von Rädern getragene Achse, während der rechts befindliche an beiden Seiten gehoben und gesenkt wird. In Abb. 292 ist die Anstellung der Druckschrauben von einer zu ebener Erde gelegener Antriebsmaschine aus dargestellt. Damit die Bewegungsübertragung bei dem veränderlichen Stande der Druckschrauben nicht gehindert werde, ist die obere der beiden von einem Ständer zum andern hinüberführenden Wellen mit Gelenken versehen. Für den Fall, daß diese Anstellungsvorrichtung einmal außer Tätigkeit kommen sollte, ist rechts ein Handrad angebracht, welches mit Hilfe einer Klauenkuppelung eingerückt werden kann. Unterhalb der Getriebe auf dem Kopfe der Druckschrauben gewahrt man die schon auf Seite 134 III erwähnte Vorrichtung zum Ablesen des Maßes der Einstellung.

Während die Rollen der beschriebenen Walztische nur den Zweck haben, die Reibung zwischen Walzstück und Tischoberfläche zu verringern, läßt man sie bei Walzwerken für schwere Walzstücke (Blöcke, Träger, Schienen) auch selbsttätig die Fortbewegung des Walzstückes ausführen, indem man ihnen von einer besonderen Dampfmaschine aus, bei neueren Anlagen auch durch elektrische Bewegungsübertragung, Drehung in der einen und andern Richtung erteilt, so daß das auf ihnen lastende Walzstück ohne Aufwand menschlicher Arbeit zwischen die Walzen geführt werden kann. Die Rollen erhalten in diesem Falle größere Durchmesser, als in jenem Falle, und die Dampfmaschine, welche sie bewegt, muß mit Umsteuerungsvorrichtung versehen sein. Ein Walztisch dieser Art ist in Abb. 293 bis 295 dargestellt[1]). Die Drehung der Rollen wird durch Winkelgetriebe von einer gemeinschaftlichen Welle

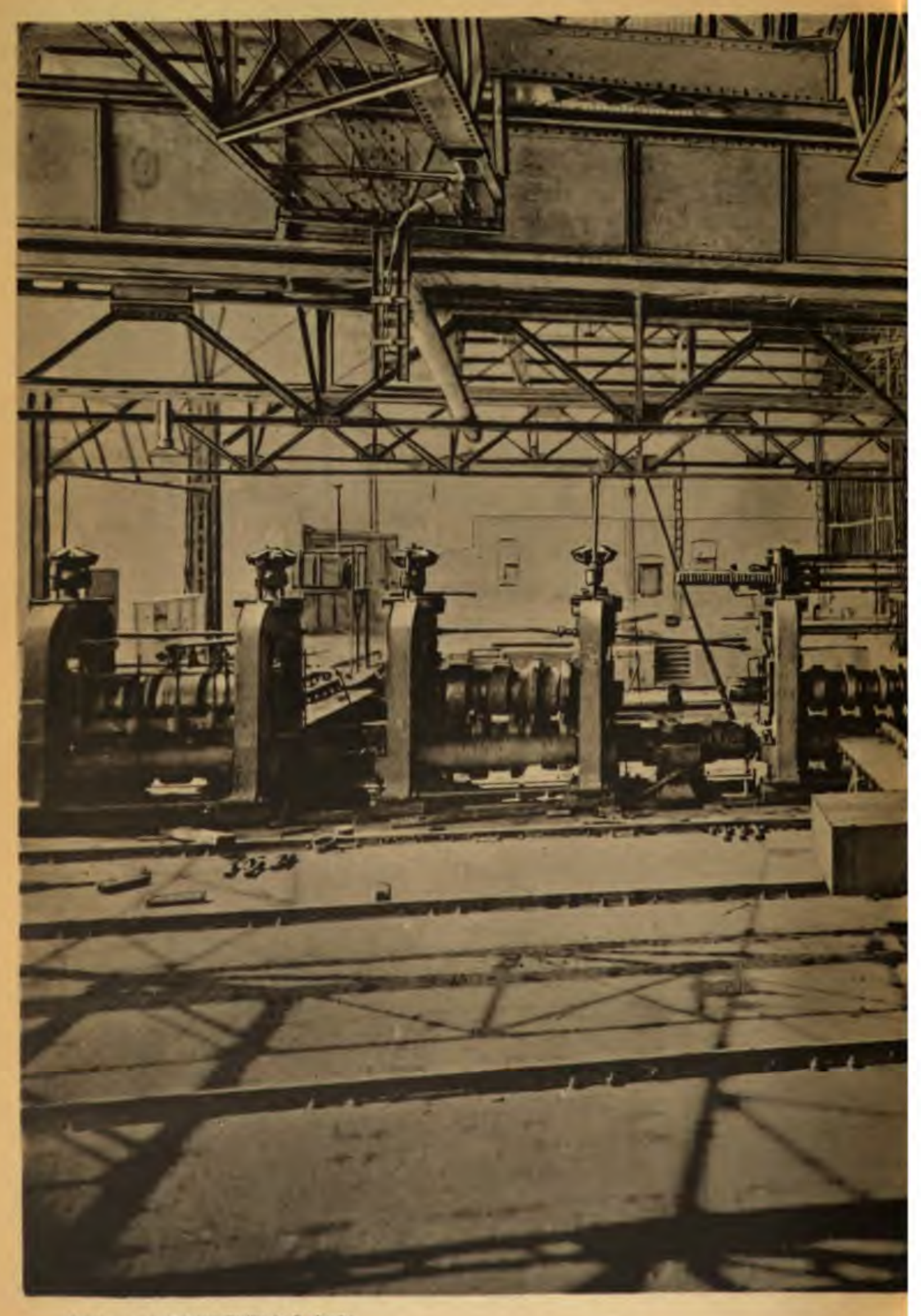
[1]) Walzentisch der Ebbw Vale Steel Works. Engineering, Band 39, Seite 421.

Abb.



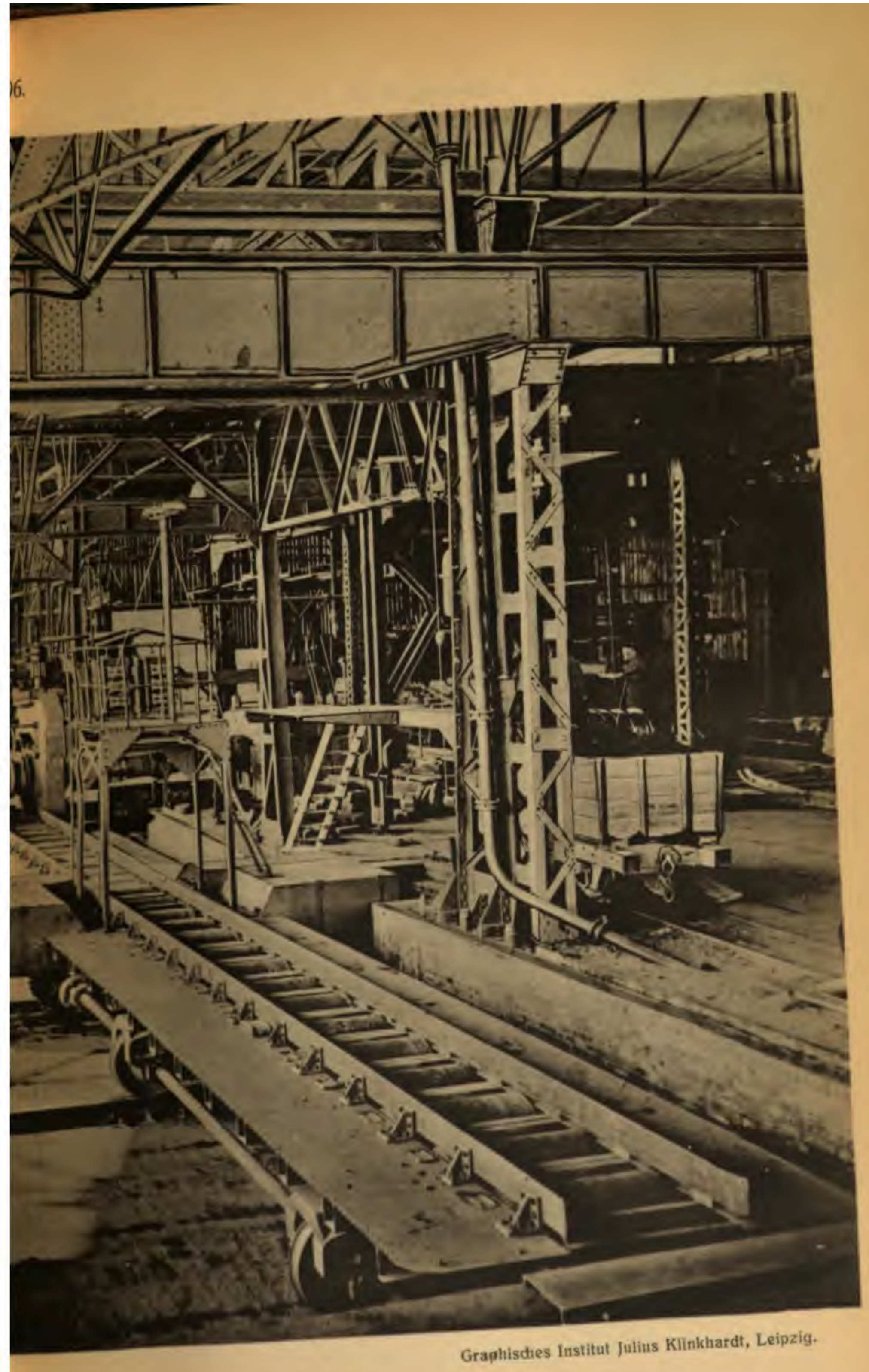
Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Abb. 2[illegible]



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

)6.



Graphisches Institut Julius Klinkhardt, Leipzig.

aus b
der g
nicht
Bewe
umge
Eine
um d
wend
Kalib
versc
Von
Zwec
laufe
geme
und
Well
Abb.
umge
der
gesc
den
Kali
welc
über
Bew

der
von
Rol
kan
Räc
lau
Ro
der
vor
gar
we
Ka
du
be
hä
tis
da

si
je
M
d
–
1

aus bewirkt, wie in Abb. 294 erkennbar ist; die Welle erhält an der gekröpften Kurbel *a* ihren Antrieb von einer in der Abbildung nicht mitgezeichneten Zwillingsdampfmaschine aus. Bei jeder Bewegungsumkehr der Walzen wird auch die Bewegung der Rollen umgesteuert, um das Walzstück aufs neue den Walzen zuzuführen. Eine besondere Vorrichtung (Kantvorrichtung) ist vorhanden, um den Block ohne Aufwand menschlicher Arbeit um 90 Grad zu wenden, wenn er in anderer Lage als zuvor durch das gleiche Kaliber hindurchgehen soll, und ihn parallel zu den Achsen zu verschieben, wenn er einem andern Kaliber zugeführt werden soll. Von der Kolbenstange des Wasserdruckzylinders *b* wird zu diesem Zwecke der unterhalb der Rollen befindliche, auf zwei Schienen laufende Wagen *c* verschoben. Der Wagen trägt vier Hebel auf gemeinschaftlicher Welle, welche sich zwischen den Rollen befinden und von dem Wasserdruckzylinder *d* aus durch Vermittelung einer Welle und eines Paares Winkelräder bewegt werden können, wie Abb. 294 erkennen läßt. Während des Walzens sind die Hebel so weit umgelegt, daß ihre Oberkante unter der Rollenoberkante bleibt; soll der Block gewendet werden, so werden sie gegen dessen Kante geschoben und dann gedreht; in einer dritten Stellung heben sie den Block von den Rollen ab und befördern ihn zu dem folgenden Kaliber, sobald der Wagen verschoben wird. Da das Winkelrad, welches die Bewegung der Triebwelle auf die Welle der Hebel überträgt, auf seiner eigenen Welle verschiebbar ist, bleibt die Bewegungsübertragung in jedem Stande des Wagens gesichert.

Wählt man elektrischen Antrieb für die Rollen, so läßt sich der ganze Rollentisch fahrbar machen, so daß man ihn nicht nur von einem Kaliber zum andern bewegen und deshalb kürzere Rollen benutzen, sondern auch mehrere Walzgerüste damit bedienen kann. Der Rahmen des Tisches ruht in diesem Falle auf drei Räderpaaren, welche auf Schienen parallel zur Walzwerksachse laufen. Er trägt die Dynamomaschinen für die Bewegung der Rollen und des Tisches selbst, sowie eine höher liegende Bühne für den Steuermann. Das Schaubild Abb. 297 a. f. S. zeigt einen solchen, von der Duisburger Maschinenbau-Aktiengesellschaft gebauten Rollgang für ein Kehrwalzwerk mit drei Walzgerüsten[1]). Das Walzwerk enthält außer dem (in der Abbildung nicht erkennbaren) Kammwalzengerüst drei Arbeitswalzengerüste, welche sämtlich durch die vor und hinter den Walzen liegenden zwei Rollentische bedient werden. Jeder der Rollentische ist 16,6 m lang und enthält 14 Rollen von 0,5 m Durchmesser. In der Mitte des Rollentisches gewahrt man die zwei Schutzkästen der Dynamomaschinen, dazwischen die erhöhte Steuerbühne.

Solche Rollentische mit mechanischer Bewegung der Rollen sind vorzugsweise bei Kehrwalzwerken in Anwendung; bisweilen jedoch haben sie auch bei Dreiwalzwerken Benutzung gefunden. Mit den Walztischen wird alsdann auch die Getriebewelle, welche den Antrieb der Rollen vermittelt, gehoben und gesenkt. Durch

---

[1]) Sonstige Abbildungen und Grundriß dieser Anlage: „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 198 und Tafel III.

Anordnung eines zum Ausrücken eingerichteten Zwischengeleges wird die Bewegungsübertragung von der Dampfmaschine auf die Getriebewelle auch in dem oberen Stande des Tisches ermöglicht [1]).

An den Enden dieser Rollentische pflegen sich Rollbahnen mit schmaleren Rollen anzuschließen, welche von der einen Seite her das glühende Walzstück dem Walztische und durch dessen Vermittelung dem Walzwerke zuführen und auf der andern Seite das aus dem letzten Kaliber kommende Walzstück nach einer Säge, Schere, unter Umständen auch nach einem folgenden Walz-

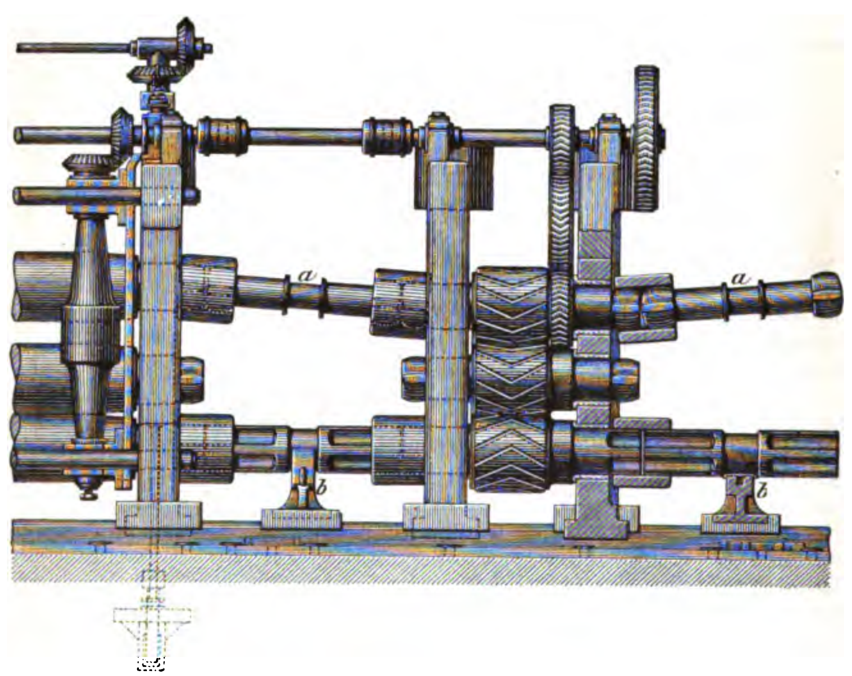


Abb. 297.

werke weiter befördern, welches ebenfalls mit solchen Rollentischen versehen sein kann. Die Zuführungsrollbahn ist bei Blockwalzwerken gewöhnlich nach dem Walztische zu geneigt, so daß der darauf gebrachte Block durch sein eigenes Gewicht abwärts gleitet; die Rollen der Bahn, welche das Walzstück weiter befördert, haben eigenen Antrieb, wie die der Walztische. Auf diese Weise ist es im Großbetriebe möglich, einen Block vorzuwalzen, einem zweiten und nötigenfalls einem dritten Walzwerke zuzuführen, das fertige Walzstück durchzuteilen und auf das Lager zu befördern, ohne

[1]) Beispiele von Rollentischen für Dreiwalzwerke: „Stahl und Eisen" 1886, Seite 667; Zeitschr. d. Vereins deutscher Ingenieure 1896, Seite 1.

daß andere menschliche Arbeit als zum Steuern der Maschinen dabei erforderlich ist[1]).

Kuppelungen.

Sie bestehen aus den Kuppelungsmuffen und den zwischen den gegenüberstehenden Zapfen der zu kuppelnden Walzen oder Getriebe eingeschalteten Kuppelungsspindeln. Der Zweck der letzteren wurde schon früher erwähnt: sie sollen die Benutzung auch solcher Walzen ermöglichen, deren Durchmesser nicht genau mit dem der Getriebe übereinstimmt, und außerdem sollen sie eine Verstellung der Oberwalze gestatten, ohne daß die Nachbarwalze oder gar die Getriebe dadurch in Mitleidenschaft gezogen werden. Der Zweck läßt sich nur erreichen, wenn die Kuppelungsspindeln und die Kuppelungszapfen der Walzen innerhalb der Muffen einen gewissen Spielraum finden, d. h. nicht allzu dicht von ihnen umschlossen werden; anderenteils ist eine große Länge der Spindeln förderlich hierbei, da jede Veränderung in der Höhenlage einer Walze offenbar die Richtung der Spindel um so weniger beeinflußt, je länger die letztere ist. Je größer aber der Spielraum zwischen Muffe und Spindel oder Zapfen ist, desto weniger fest ist die Verbindung, und desto leichter entstehen Brüche durch die Stöße, welche die verbundenen Teile gegeneinander ausüben. Mit Vorteil gibt man deshalb den Spindeln und Kuppelungszapfen von Walzwerken, deren Walzen stark verstellbar sein sollen, kugelförmige Köpfe, mit denen sie in die Muffe treten. In Abb. 297 zeigen die Spindeln *aa* sowie die ihnen benachbarten Kuppelungszapfen diese Form. Sie behalten dabei ihre Beweglichkeit, auch wenn sie dicht an die Muffe sich anlegen.

In jedem Falle muß die Länge der Kuppelungsspindel mindestens doppelt so groß sein als die Länge der Kuppelungsmuffen, damit die beiden zu einer Kuppelung gehörenden Muffen gemeinschaftlich auf die Spindel geschoben und mit dieser zwischen den Zapfen herausgenommen werden können. Bei kleineren Walzwerken mit verstellbaren Walzen gibt man den Spindeln eine Länge, welche etwa das 10 bis 15fache der Höhe beträgt, auf welche die Walzen gehoben werden; bei großen Walzwerken begnügt man sich, um nicht gar zu lange Spindeln zu bekommen, mit dem 7 bis 8fachen jener Höhe. Bei Feineisenwalzwerken beträgt die Länge der Spindeln mitunter nicht mehr als 0,5 m, bei schweren Blechwalzwerken bis 3 m.

In der Mitte gibt man den Kuppelungsspindeln häufig einen etwas geringeren Durchmesser als an den Enden, wo sie in den Muffen stecken (Abb. 270, 297). Man lenkt dadurch die Gefahr eines Abbrechens bei starken Widerständen oder Stößen von den Kuppelungszapfen der kostspieligen Walzen ab und auf die Spindeln, welche ohne erhebliche Kosten und rasch zu ersetzen sind. Die

---

[1]) Abbildungen ganzer Walzwerksanlagen mit Rollentischen und Rollbahnen: „Stahl und Eisen“ 1893, Tafel II; 1895, Tafel II; 1896, Tafel XII; 1898, Tafel X.

Spindeln, welche die Fortsetzung der Antriebswelle bilden, dreht man, wenn sie einigermaßen lang sind, in der Mitte rund und unterstützt sie hier durch ein Lager (*bb* in Abb. 297); bei größeren Walzwerken unterstützt man auch die verstellbaren Spindeln durch ein Lager, welches ebenfalls verstellbar sein muß und durch einen Hebel mit Gegengewicht oder durch den Kolben eines Wasserdruckzylinders getragen wird (vergl. unten Abb. 300).

Die Länge der Muffen soll um 10 bis 20 mm größer sein als die doppelte Länge der Kuppelungszapfen.

Den Muffen gibt man äußerlich zylindrische Form; der Querschnitt der Öffnung muß der Querschnittsform der Zapfen und Spindeln entsprechen und aus dem schon angeführten Grunde nur etwas größer im Durchmesser als dieser sein. Abb. 298 zeigt als Beispiel, wie sich eine passende Querschnittsform herstellen läßt. *a* ist der Walzenzapfen oder die Spindel, *b* die Muffe. Statt der vierteiligen Form des Querschnitts wählt man auch mitunter, obschon seltener, die dreiteilige, und hiervon ist die für alle diese gegliederten Querschnittsformen üblich gewordene Bezeichnung „Kleeblattform" abgeleitet. Auch Spindeln mit sechs Rippen kommen in Anwendung.



Abb. 298.

Die geringste Wandstärke der Muffe beträgt durchschnittlich ein Viertel des größten Durchmessers der Kuppelungsspindeln.

Um die Kuppelungsmuffen in ihrer Lage zu erhalten und vor dem Heruntergleiten von den Walzenzapfen zu bewahren, werden sie durch dazwischen gespreizte Hölzer — Kuppelhölzer — auseinandergehalten. Diese Kuppelhölzer liegen in den Aussparungen der Spindeln und sind durch umgeschnallte Riemen vor dem Herausfallen gesichert.

Bei dem Kuppelungsmuffenhalter von W. Müller D.R.P. 167 117[1]) sind die Hölzer durch Spiralfedern ersetzt, welche — in einer Röhre gelagert — zwei Körnerspitzen in entsprechende Vertiefungen der Muffen drücken und diese auseinanderhalten.

Die Getriebe oder Kammwalzen nebst Ständern.

In Rücksicht auf die beträchtlichen Stöße, welche vom Walzwerke ausgehen, müssen die Zähne der Getriebe ausnahmsweise kräftig gefertigt sein; man wählt daher die Zahl der Zähne für einen vorgeschriebenen Teilkreisdurchmesser so gering, wie es irgend möglich ist, ohne den Eingriff zu benachteiligen, und gibt ihnen eine beträchtlichere Länge (in der Achsenrichtung des Walzwerkes) als bei gewöhnlichen Getrieben. Die Getriebe bekommen dadurch Walzenform mit aufgegossenen Zähnen (Kämmen), und in Rücksicht hierauf nennt man sie, wie schon erwähnt, gewöhnlich Kammwalzen. Zur Verstärkung der Zähne werden an beiden

[1]) Abbildung im Zentralblatt der Hütten- und Walzwerke 1907 Nr. 14 Seite 304.

Seiten Scheiben angegossen, und wenn die Länge der Zähne sehr groß ist, werden sie nicht selten auch in der Mitte ihrer Länge durch eine dritte Scheibe verstärkt, welche die Kammwalze in zwei Hälften teilt (vergl. Abb. 299). Die Scheiben werden nach dem Teilkreisdurchmesser abgedreht, so daß sie aufeinander laufen.

Bei neueren Walzwerken wendet man regelmäßig Kammwalzen mit Winkelzähnen an (Abb. 299), welche dem Abbrechen weniger als die geradlinigen Zähne unterworfen sind und sanfteren Eingriff besitzen.

Die große Schwierigkeit, welche in der Herstellung einer genauen Form der Winkelzähne liegt, läßt in jüngster Zeit wieder mehr auf Kammwalzen mit geraden Zähnen zurückgreifen. Letztere bieten den Vorteil, daß sie sich behufs Erzielung eines möglichst ruhigen Ganges — welcher besonders bei Feineisen nicht ohne Einfluß auf das Aussehen des Walzproduktes bleibt — leichter nachfräsen lassen. Auch schneidet man aus diesem Grunde bereits vielfach die Zähne aus massiv geschmiedeten Kammwalzen aus dem Vollen.

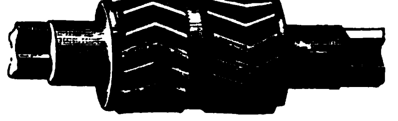


Abb. 299.

Man gießt die Kammwalzen gewöhnlich aus Stahl. Größere Kammwalzen werden in zwei Stücken gefertigt, dem Zahnkranze und der Spindel mit den Lauf- und Kuppelungszapfen. Beide Stücke werden genau aus- und abgedreht, übereinander geschoben und mit Nut und Feder verbunden

Neuerdings gießt man nach einem Vorschlage Daelens[1]) die Kammwalzen mitunter hohl, ohne sie mit Kuppelungszapfen zu versehen, gibt den Innenflächen Längsrippen und läßt die Kuppelungsspindeln in die hohlen Kammwalzen eingreifen, so daß letztere zugleich als Kuppelungsmuffen dienen. Der Hauptvorteil der Einrichtung liegt in dem Umstande, daß die Länge der Walzstrecke dadurch verringert wird. Die Abb. 300 a. f. S. zeigt eine solche Anordnung. Das Gerüst der Arbeitswalzen liegt hier zwischen der Antriebswelle und dem Kammwalzengerüst, so daß die Bewegung zunächst durch die Unterwalze auf die Kammwalzen übertragen wird; die Laufzapfen der letzteren sind stärker im Durchmesser als bei voll gegossenen Kammwalzen, so daß ihre Tragfähigkeit trotz des Hohlgusses nicht geschwächt ist. Im übrigen wird die Einrichtung der Kammwalzen ohne sonstige Erläuterung verständlich sein. Der Vorrichtung für die Anstellung der Druckschrauben bei dem abgebildeten Walzwerke ist schon auf Seite 142 III gedacht worden. Sie geschieht von einer Dynamomaschine aus durch Vermittelung einer an der rechten Seite des Walzgerüstes befindlichen senkrechten Welle, welche eine auf dem Kopfe der Ständer gelagerte Welle treibt. Diese überträgt die Bewegung durch Schnecken auf Schraubenmuttern, welche drehbar auf den Ständern befestigt sind und bei ihrer Drehung den von ihnen umschlossenen Druck-

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 279; 1902, Seite 195.

schrauben Auf- oder Abwärtsbewegung erteilen. Die Ständer für die Kammwalzen versieht man gewöhnlich mit einem aufgeschraubten

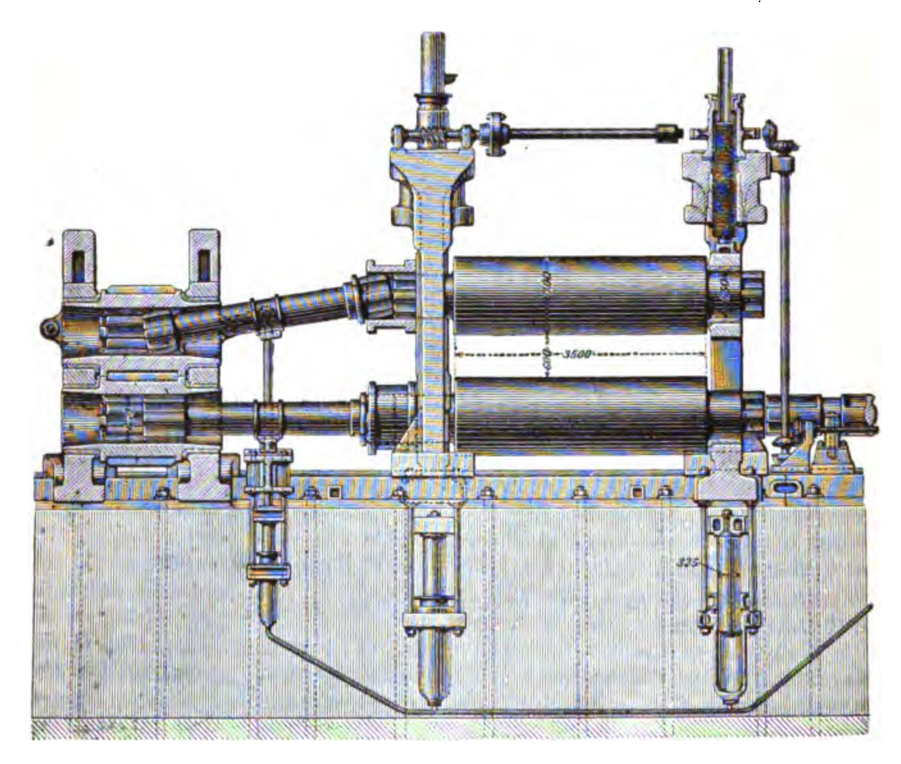


Abb. 300.

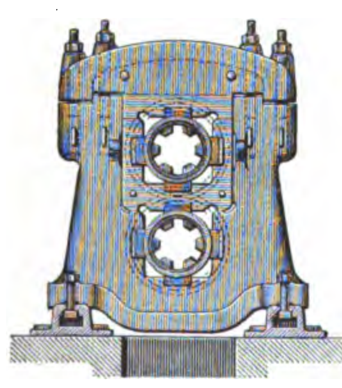


Abb. 301.

Deckel, statt sie, wie häufig die Walzenständer, in einem Stücke zu gießen. Man erleichtert dadurch das Einlegen. Im übrigen sind sie in ihrer äußeren Form den Walzenständern ähnlich. Abb. 301 zeigt die Seitenansicht der in Abb. 300 dargestellten Ständer für hohl gegossene Kammwalzen. Wie die Ständer der Arbeitswalzen werden die Kammwalzenständer durch Queranker miteinander verbunden. Druckschrauben kommen in der Regel nicht zur Anwendung, da die Lage der Getriebe unverändert bleibt[1]).

[1]) Über eine etwas abweichende Form vergl. „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 198.

Das Schwungrad.

Es soll die während des Leerganges von der Betriebsmaschine überschüssig geleistete Arbeit ansammeln, um sie während des Durchganges des Walzstückes nutzbar zu machen, und überhaupt einen Ausgleich schaffen für die Ungleichmäßigkeiten des Arbeitsverbrauchs. Je schwerer das Schwungrad und je länger die Pausen sind, während welcher die Walzen leer gehen, desto schwächer kann die Betriebsmaschine sein; doch muß immerhin das Gewicht des Schwungrades auch mit der Größe der überhaupt aufzuwendenden Arbeit für das Walzen zunehmen. Bei einem kleinen Walzwerke würde ein allzu schweres Schwungrad den Arbeitsverlust durch Zapfenreibung unnötig vergrößern. Selten jedoch beträgt auch bei Walzwerken für feinere Eisensorten das Schwungradgewicht weniger als 20 t; bei Walzwerken mittlerer Größe steigt es auf 30 t; neuere große Dreiwalzwerke für Schienen, Träger und ähnliche schwere Fertigerzeugnisse haben Schwungräder von 60 bis 80 t Gewicht.

Sohlplatten und Unterbau.

Die Walzenständer sowohl als die Getriebeständer werden auf starken gußeisernen Sohlplatten in solcher Weise befestigt, daß eine Verschiebung in der Achsenrichtung der Walzen ohneSchwierigkeit möglich ist, wenn Walzen von anderer Länge eingelegt werden sollen. Die Sohlplatten sind bei älteren Walzwerken rahmenartig geformt; die Art der Befestigung der Ständer auf ihnen ist in den früher gegebenen Abbildungen 287, 291 und 293 zu ersehen. Zwischen den kräftig geformten Rippen, welche auf der Sohlplatte in der Längsrichtung sich erstrecken, werden die Ständer mit hölzernen und eisernen Einlegestücken verkeilt. Gehobelte Arbeitsleisten unter dem Fuße der Ständer und auf der Oberfläche der Sohlplatte ermöglichen das genaue Zusammenpassen.

Eine andere, bei neueren Walzwerken üblichere Befestigung der Ständer auf der Sohlplatte ist u. a. bei den Walzenständern Abb. 273, 276, 281 und 284 zur Anwendung gebracht. Die aufgegossenen Rippen der Sohlplatten sind in ihrer ganzen Längenausdehnung mit Schlitzen versehen, und Schraubenbolzen, deren Köpfe in den Schlitzen sich verschieben lassen, stellen die Verbindung her. Abb. 278 läßt die Form der Schraubenlöcher im Fuße des Ständers erkennen. Bei dieser Befestigungsweise ist es jedoch auch nicht erforderlich, beide Rippen auf einer gemeinschaftlichen, quer von einem Ständerfuße zum andern hinübergehenden Sohlplatte aufzugießen, sondern es genügt, sie einzeln zu fertigen, mit Fußleiste zu versehen, in entsprechendem Abstande voneinander auf dem Unterbau zu befestigen und allenfalls durch Queranker zu verbinden (Abb. 276, 284). Dadurch wird das Gewicht dieser Platten verringert und die Herstellung vereinfacht.

Der Unterbau besteht aus zwei parallel laufenden, in Zement gemauerten Wänden, untereinander durch Querwände in entsprechenden Abständen versteift und mit Öffnungen für die Ankerschrauben zur Befestigung der Sohlplatten versehen. In Abb. 281

und 282 ist die Einrichtung des Unterbaues und die Befestigung der Sohlplatten erkennbar. Die Höhe des Unterbaues beträgt bei kleinen Walzwerken etwa 2 m, bei schweren bis 4 m. Es entsteht dadurch unter den Walzen ein Kanal, der sogenannte Walzkanal, von welchem aus die Fundamentschrauben zugänglich sind, und in welchem sich Spritzwasser und Walzensinter sammeln können. Ersteres wird nach einem Abflußkanal abgeleitet, letzterer muß von Zeit zu Zeit entfernt werden.

d) Die Kalibrierung der Walzen.

Von der zweckmäßig gewählten Form der Kaliber bei Kaliberwalzen hängt zum großen Teile die Erzeugungsfähigkeit ab. Die Kalibrierung der Eisenwalzen ist daher eine Aufgabe von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit. Nur in allgemeinen Umrissen können die Regeln dafür hier entwickelt werden. Näheres über das Entwerfen der Kaliber für bestimmte Querschnitte findet der Leser in den unter Literatur genannten Schriften über diesen Zweig der Eisenhüttenkunde.

Kaliber, welche gleichmäßig auf Ober- und Unterwalze verteilt sind, so daß jede der letzteren eine Hälfte des Kalibers als furchenartigen Einschnitt enthält (wie bei den rechts befindlichen Walzen in Abb. 270, Seite 124 III), nennt man offene; tritt dagegen die Oberwalze mit einem vorspringenden Rande in die Furche der Unterwalze, wie bei den linksseitigen Walzen der genannten Abbildung, so heißt das Kaliber geschlossen. Geschlossene Kaliber, bei denen die Furche in der Oberwalze, der Rand in der Unterwalze liegt, kommen nur ausnahmsweise vor, da es wünschenswert ist, daß der Durchmesser der Oberwalze innerhalb des Kalibers größer sei als der der Unterwalze. Das Walzstück bekommt hierdurch die Neigung, nach unten sich zu krümmen, und wird durch Abstreifmeißel vor dem Aufwickeln auf die Walze geschützt. Diese Abstreifmeißel werden an ihrer Rückseite an einer Eisenstange befestigt, welche von einem Walzenständer zum andern geht und in den mehrfach erwähnten senkrechten Nuten der Walzenständer endigt[1]; an der andern Seite sind sie zugeschärft und legen sich in tangentialer Richtung dicht gegen die Walzenoberfläche, solcherart das Aufwickeln des Walzstückes unmöglich machend. Bei Blechwalzen bringt man zu dem gleichen Zwecke eine die ganze Länge des Walzenbundes einnehmende Abstreifplatte an. Bei dem Walzwerke Abb. 287 schließt sich an den rechts befindlichen Walztisch eine solche zur Walze hinüberführende Abstreifplatte an; auch bei der Mittelwalze des Walzenständers Abb. 291 ist links die auf der Walze ruhende Abstreifplatte erkennbar.

Je zwei benachbarte Kaliber sind durch einen dazwischen liegenden Rand oder Bund getrennt. Man gibt ihm eine Breite, welche ungefähr seiner Höhe gleich ist. Je breiter die Ringe sind,

[1]) Diese Nuten sind u. a. bei dem Walzenständer Abb. 273 auf Seite 129 III erkennbar.

desto mehr Walzenlänge geht für die Benutzung zu Kalibern verloren; allzu schmale Ringe dagegen brechen leicht aus.

In allen Fällen muß das Arbeitsstück, um eine bestimmte Endform zu erhalten, nacheinander verschiedene Kaliber durcheilen, deren Querschnitt für jeden neuen Durchgang kleiner ist. Der Querschnitt des letzten oder Endkalibers entspricht dem Querschnitte des fertigen Stabes; von hier bis zum ersten Kaliber aufwärts bilden sämtliche Kaliber eine Reihe mit allmählichen Übergängen sowohl der Querschnittsgröße als Querschnittsform.

Je allmählicher diese Übergänge stattfinden, desto mehr Kaliber sind für eine und dieselbe Endform erforderlich, desto länger ist die Zeitdauer des Auswalzens, desto mehr kühlt das Walzstück während der Arbeit ab, und desto öfter muß es neu erhitzt werden; raschere Übergänge tragen zur Beschleunigung der Arbeit bei, machen aber eine höhere Leistung der Betriebsmaschine erforderlich und vergrößern die Gefahr einer Beschädigung des Walzstückes unter dem Einflusse eines allzu starken Streckens.

Je mehr Eisensorten mit verschiedenen Querschnittsformen auf einem und demselben Eisenwerke gefertigt werden, und je mehr Kaliber für eine und dieselbe Endform erforderlich sind, desto größer ist der Bedarf an Walzen. Nicht selten aber lassen sich gleiche Anfangskaliber für verschiedene, wenn auch ähnliche Endformen benutzen. Indem man nun bei einer Walzstrecke mit zwei oder mehreren Walzgerüsten die Kaliber so verteilt, das die Walzen des einen Gerüstes, die Vorwalzen, nur Anfangskaliber, für mehre Endformen brauchbar, die Walzen des zweiten (oder letzten) Gerüstes, die Fertigwalzen, nur die letzten, für eine einzige Endform benutzbaren Kaliber enthalten, erlangt man verschiedene Vorteile. Man kommt weniger häufig in die Notwendigkeit, die Walzen auswechseln zu müssen, teils weil die Vorwalzen ohnehin für verschiedene Zwecke brauchbar sind, teils auch, weil die Länge der Fertigwalzen gewöhnlich ausreichend groß ist, um die Kaliber verschiedener Endformen aufzunehmen; man ermöglicht auch eine Beschleunigung der Arbeit, da nunmehr gleichzeitig in den Vorwalzen und in den Fertigwalzen gearbeitet werden kann.

Eine wagerechte Linie durch die Mitte der Kaliber gelegt nennt man die Walzlinie. Da, wie schon erwähnt wurde, der Durchmesser der oberen Walze innerhalb des Kalibers etwas größer zu sein pflegt als der der unteren, legt man die Walzlinie entsprechend tiefer als die Mittellinie zwischen beiden Walzenachsen. Bei offenen Kalibern (wie auch bei Blechwalzen) pflegt der Unterschied $1^1/_2$ bis 3 mm zu betragen, bei flachen geschlossenen Kalibern bis 8 mm, bei tief eingeschnittenen geschlossenen Kalibern liegt oft mehr als zwei Drittel der Kaliberhöhe unter der Mittellinie, und der Abstand der letzteren über der Walzlinie beträgt mitunter mehr als 25 mm.

Die stärkere Streckung, welche hierbei durch die obere Walze mit größerem Durchmesser und deshalb größerer Umfangsgeschwindigkeit ausgeübt wird, nennt man Oberdruck. Das Verhältnis des Querschnitts eines nachfolgenden Kalibers zu dem des vorausgegangenen heißt der Abnahmekoeffizient.

Die Wahl eines geeigneten Abnahmekoeffizienten ist von Wichtigkeit für die Kalibrierung. Von seiner Größe ist zunächst unmittelbar die Anzahl der Kaliber oder Stiche [1]) abhängig, welche das Walzstück im ganzen zu durchlaufen hat, also auch, wie schon hervorgehoben wurde, die Zeitdauer des Walzens, die Höhe der Arbeitslöhne, die Anzahl der erforderlichen Erhitzungen. Je größer der Koeffizient ist, je geringer also die Abnahme, desto zahlreichere Kaliber sind erforderlich.

Im Betriebe nun pflegt man bei dem Entwerfen der Kaliber nicht einen bestimmten Abnahmekoeffizienten als maßgebend für die Zahl der Kaliber anzunehmen, sondern man schlägt den umgekehrten Weg ein. Nach den bereits vorliegenden Erfahrungen beim Walzen ähnlicher Profile bestimmt man zunächst die Anzahl der erforderlichen Stiche oder Kaliber, und aus dieser läßt sich dann leicht, da die Querschnitte des ersten und letzten Kalibers gegeben sind, der durchschnittliche Abnahmekoeffizient berechnen. Ist der Anfangsquerschnitt $= H$, der Endquerschnitt $= h$ und die Anzahl der Stiche $= n$, so ist der Abnahmekoeffizient $a = \sqrt[n]{\frac{h}{H}}$.

Je weicher, bildsamer das zu walzende Eisen, je größer die Arbeitsleistung der Maschine und je größer die Umfangsgeschwindigkeit der Walzen ist, je rascher also die letzteren strecken, und je weniger das Eisen während des Streckens abgekühlt wird, desto kleiner kann der Abnahmekoeffizient, desto geringer die Anzahl der Kaliber sein. Kohlenstoff- und schwefelarmes Schweißeisen erträgt starke Abnahme, rotbrüchiges Eisen oder harter Stahl geringe.

In den meisten Fällen schwankt der Abnahmekoeffizient zwischen 0,7 und 0,9 und beträgt durchschnittlich bei der ganzen Reihe der zueinander gehörigen Kaliber annähernd 0,8. Betrachtet man jedoch die Abnahmekoeffizienten einer solchen Reihe einzeln, so zeigt sich, daß sie keineswegs immer übereinstimmen. Bisweilen, wo die Kalibrierung rein nach Gutdünken vorgenommen wurde, bewegen sich jene Abweichungen in ganz zufälligen, regellosen Schwankungen; in anderen Fällen dagegen haben die stattfindenden Abweichungen ihre volle Berechtigung und lassen eine gewisse Gesetzmäßigkeit erkennen. In dem ersten Kaliber ist das Walzstück am heißesten, am bildsamsten; je mehr Kaliber es durchläuft, desto mehr wird es abgekühlt, und desto härter wird es, desto größer ist also die Gefahr einer Beschädigung bei zu starker Abnahme und desto größer auch der erforderliche Arbeitsaufwand, um den Stab durch das Kaliber hindurchzuführen. Dieser Umstand kann es mithin rechtfertigen, wenn der Abnahmekoeffizient stetig zu-, der Druck der Kaliber stetig abnimmt.

Anderseits gibt man, um einem Zerbrechen der Walze tunlichst vorzubeugen, den in der Mitte gelegenen Kalibern gern einen

[1]) Kaliber ist, wie erläutert, die auf der Walze angebrachte Profilbegrenzung an und für sich; den Ausdruck Stich gebraucht der Betriebsmann für das Kaliber, wenn damit der Begriff seiner Benutzung verbunden werden soll.

etwas weniger starken Druck, also einen größeren Aufnahmekoeffizienten als den Kalibern, welche in der Nähe der Walzenangeordnet sind.

Durch Linienverzeichnung kann man bei Bemessung der Kaliberquerschnitte diesen Umständen Rechnung tragen. In allen Fällen muß entweder die Anzahl der Stiche oder der durchschnittliche Abnahmekoeffizient als gegeben betrachtet werden; ferner ist die Größe des ersten und des letzten Kaliberquerschnitts gegeben. Unter der vorläufigen Annahme, daß der Abnahmekoeffizient bei allen Kalibern unverändert bleibe, läßt sich alsdann leicht die Größe der einzelnen Kaliber berechnen. Trägt man nun die Anzahl der erforderlichen Stiche als Abszisse, die Größe der Kaliberquerschnitte als Ordinaten eines rechtwinkligen Koordinatensystems auf, so erhält man eine Kurve, welche, anfangs steil abfallend, sich nach dem Ende hin mehr und mehr verflacht.

Es verhalte sich z. B. der Querschnitt des Anfangskalibers für irgendeinen zu walzenden Stab zu dem des Endkalibers = 120 : 16,28, und man habe sich für zwölf anzuwendende Kaliber entschieden, so ist der durchschnittliche Abnahmekoeffizient:

$$a = \sqrt[12]{\frac{16{,}28}{120}} = 0{,}847$$ [1].

Berechnet man mit Hilfe dieses Abnahmekoeffizienten die Kaliberquerschnitte für den Fall, daß die Abnahme unverändert bleibt, so erhält man folgende Ziffern:

0	Stich	120,0
1	„	101,37
2	„	86,02
3	„	61,67
6	„	44,21
8	„	31,69
10	„	22,66
12	„	16,28,

und trägt man nun diese Werte als Ordinaten ein, so erhält man die in Abb. 302 a. f. S. als volle Linie verzeichnete Kurve.

Hätte man in den ersten Kalibern in Rücksicht auf die höhere Temperatur des Eisenstabes einen kleineren Koeffizienten (stärkeren Druck), in den Endkalibern dagegen einen höheren Koeffizienten (schwächeren Druck) als den mittleren gewählt, so würde man, wie leicht zu ermessen ist, eine Kurve erhalten haben, welche anfänglich steiler abfiel als die gezeichnete, um später flacher als diese auszulaufen. Umgekehrt kann man, wenn man zuvor eine derartige Kurve entwirft, leicht die entfallenden Querschnitte aus der Länge der Ordinaten abnehmen und die jedesmaligen Abnahmekoeffizienten daraus berechnen.

Läge andrerseits die Aufgabe vor, die erforderlichen Kaliber auf zwei Walzgerüste mit je sechs Stichen su verteilen, den in der Mitte der Walzen gelegenen Kalibern aber eine geringere, den an den Enden gelegenen eine stärkere Abnahme als die mittlere

[1]) Nach E. Blass, Beitrag zur Theorie der Abnahmekoeffizienten bei der Walzenkalibrierung. „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 189.

zu geben, so würde sich eine Kurve von der in Punkten gezeichneten Form ergeben. Diejenigen Kaliber, bei welchen die Linie am flachsten ist (3 und 9) haben den größten Abnahmekoeffizienten, d. h. geringsten Druck, und müssen in der Mitte der Walze liegen.

Bei der Wahl der Abmessungen für das letzte Kaliber (Fertigkaliber) ist die beim Abkühlen des glühenden Eisens eintretende Verkleinerung der Abmessungen, die Schwindung, zu berücksichtigen,

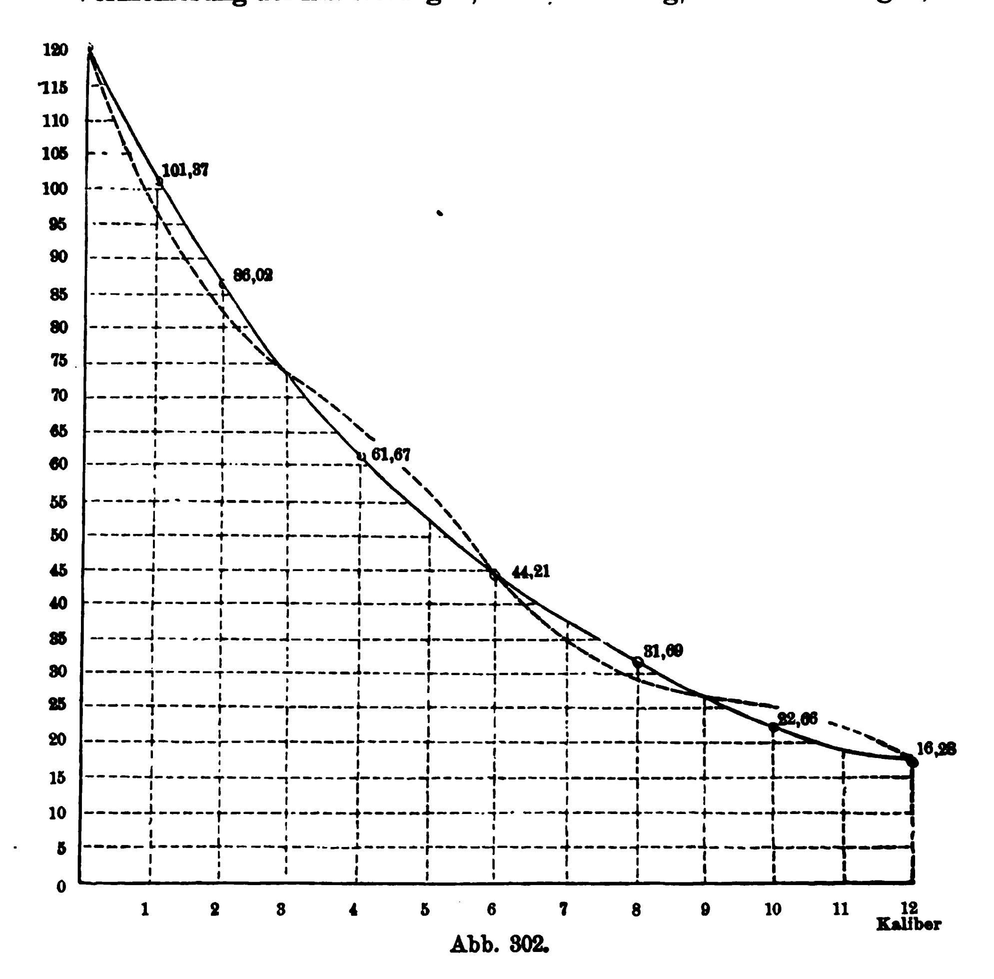


Abb. 302.

und man muß den Abmessungen, welche der Querschnitt des erkalteten Walzstückes besitzen soll, das Schwind- oder Schrumpfmaß zugeben. Man rechnet dafür $^1/_{50}$ bis $^1/_{64}$ der Abmessungen. Im übrigen können auch Zufälligkeiten das Schwindmaß beeinflussen. Wenn das Walzwerk nach längerem Stillstande angelassen wird, sind die Walzen kalt, das Walzstück kommt weniger heiß heraus, und seine Schwindung ist geringer als nach längerem Betriebe.

Beim Entwerfen der Kaliber ist nun vor allem der Umstand in Rücksicht zu ziehen, daß die Abnahme des Querschnitts nur in der Höhenrichtung, niemals in der Breite stattfinden kann. Mit anderen Worten: jedes Kaliber muß mindestens ebenso breit sein als das Walzstück, welches hindurchgehen soll; gewöhnlich nimmt man das Kaliber etwas breiter, um die Entstehung eines allzu beträchtlichen Seitendruckes zu vermeiden. Dieser Seitendruck ist eine Folge der neben der Streckung immerhin stattfindenden Ausbreitung des Walzstückes in der Richtung der Walzenachsen. Die Ausbreitung und somit auch der Seitendruck in den Kalibern wächst nach früherem (Seite 126 III) mit dem Walzendurchmesser; außerdem ist der Seitendruck abhängig von der Größe des überhaupt ausgeübten Druckes (d. i. der stattfindenden Querschnittsverkleinerung) und besonders auch von dem Verhältnis der Breite des Kalibers zu der Breite des eingeführten Walzstückes. Je größer dieses Verhältnis ist, d. h. je mehr Gelegenheit dem Walzstücke zur Ausbreitung gegeben ist, desto schwächer muß der Seitendruck ausfallen. Ist der Seitendruck zu groß, so haftet nicht allein das Metall fester an den Walzen, sondern es entstehen durch das Hineindrücken des weichen Metalls in die Fugen zwischen beiden Walzen Bärte, welche sich oft nur schwierig und unvollkommen entfernen lassen. Je ausgiebigere Gelegenheit dem Eisen zur Ausbreitung gegeben ist, je geringer der Seitendruck also ausfällt, desto stärker kann die Abnahme der Höhenabmessung eines Kalibers sein. Auf diesem Umstande beruht die beim Walzen feinerer Eisensorten von quadratischem oder kreisrundem Querschnitte übliche Einschaltung sogenannter Ovalkaliber ⬭, durch zwei flache Kreisbogen begrenzt, welche bei starkem Höhendrucke eine fast unbegrenzte Ausbreitung ermöglichen.

Jene Tatsache nun, daß eine Querschnittsabnahme nur in der Höhenrichtung stattfinden kann, eine, wenn auch geringe, Ausbreitung in wagerechter Richtung dagegen notwendig ist, führt eine stete Verbreiterung des Walzstückes herbei, sofern es stets in derselben Lage durch die verschiedenen Kaliber geführt wird. Ist eine Verbreiterung nicht beabsichtigt, so läßt sich Abhilfe schaffen, indem man das Walzstück, nachdem es durch ein oder mehrere Kaliber hindurchgegangen ist, um 90 Grad dreht, so daß nunmehr in dem folgenden Kaliber eine Verkleinerung derjenigen Abmessung herbeigeführt wird, welche in dem vorausgehenden Kaliber verbreitert wurde.

Stäbe mit Profilen regelmäßiger Form (Quadratstäbe, Rundstäbe), welche auf geometrisch ähnliche Profile verkleinert werden sollen, dreht man nach jedem Durchgange um 90 Grad. Jedes folgende Kaliber erhält mindestens die Höhe des vorausgegangenen zur Breite und eine dem Abnahmekoeffizienten entsprechende geringere Höhe, hat also eine gedrückte Form; indem man den Stab durch das letzte Kaliber zwei oder mehrere Male nach steter Drehung um 90 Grad hindurchführt, berichtigt man die anfänglich zu große Breite.

So z. B. benutzt man als Vorkaliber zum Walzen von Quadrat-

eisen, Rundeisen, Flachseisen und anderen einfach gestalteten Eisensorten häufig Spitzbogenkaliber, offene, vierseitige, durch Kreisbogen begrenzte Kaliber mit senkrecht stehender Diagonale. Die rechts befindlichen Walzen des in Abb. 270 (Seite 124 III) dargestellten Walzwerkes sind mit solchen Spitzbogenkalibern versehen. Die Aufzeichnung der aufeinanderfolgenden Spitzbogenkaliber kann in der durch Abb. 303 dargestellten Weise geschehen [1]. Ist AB die Diagonale des zu walzenden Eisenblockes oder Packetes, $^7/_8$ der Abnahmekoeffizient, so nehme man $EF = EH = {}^7/_8\,AE$, und man erhält hierdurch die Höhe des Kalibers. Die begrenzenden Bogen lassen sich in folgender Weise zeichnen. Mit dem Halbmesser $FJ = {}^3/_4\,AB$ beschreibt man die Kreisbogen AF, FB, BH und AH, worauf man die Ecken mit einer schwachen Erweiterung

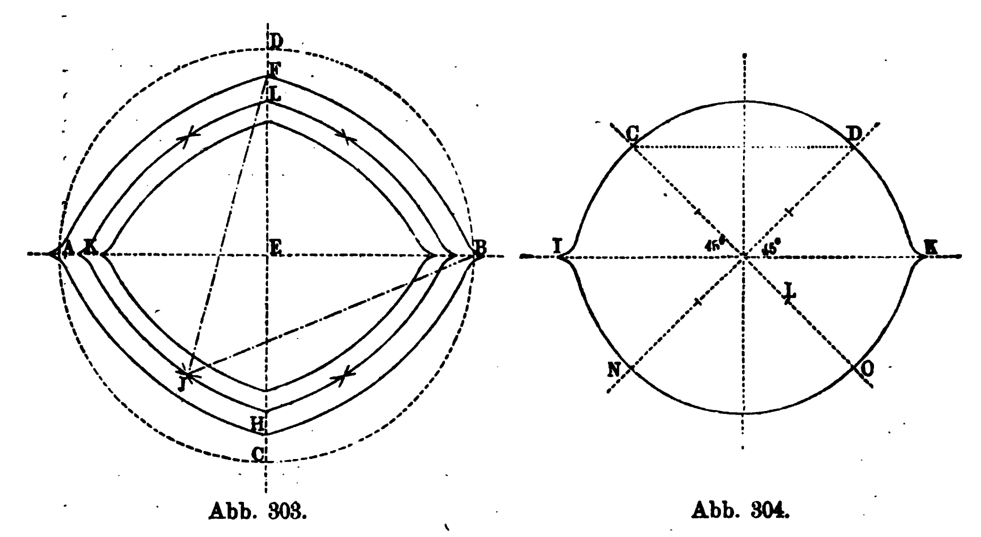
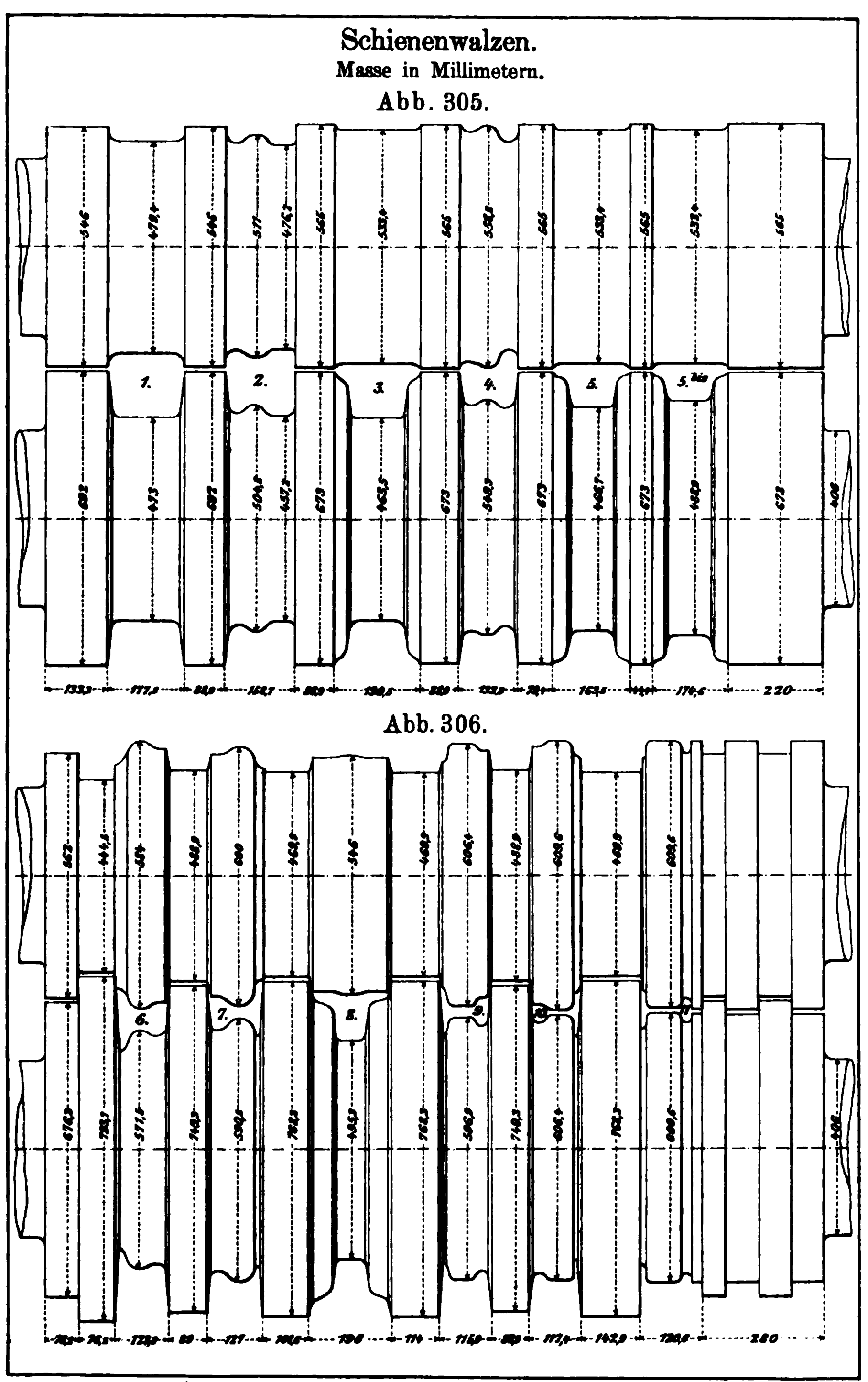


Abb. 303. Abb. 304.

abrundet. Das folgende Spitzbogenkaliber erhält nun die Höhe des vorausgegangenen zur Breite, also $EK = EF$. Die Höhe EL wird, sofern der frühere Abnahmekoeffizient beibehalten wird, $= {}^7/_8\,EK$; die Bogen werden wie vorhin gezeichnet. Ebenso schließen sich die noch weiter folgenden Kaliber an.

Ähnlich wie Spitzbogenkaliber, d. h. mit senkrecht stehender Diagonale, werden Quadrateisenkaliber gebildet. Ihre Höhe ist aus den erörteten Gründen etwas geringer als die Breite; in Wirklichkeit besitzen sie also die Form eines Trapezes, dessen oberer und unterer Winkel $90^1/_2$ bis 92 Grade (statt 90 Grade) beträgt. Da aber der gewalzte Stab in der Mitte der Seitenflächen stärker schwindet als in der Nähe der Kanten, würden die Flächen konkave Form erhalten, wenn die Begrenzungen des Kalibers genau geradlinig wären; man gibt ihnen daher gern, wie den Spitzbogenkalibern, etwas gebauchte Form, zumal für größere Abmessungen, um den Fehler zu vermeiden.

[1]) Nach Daelen; vergl. Literatur.



Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

Die Abb. 304 zeigt als ferneres Beispiel, wie sich die Rundeisenkaliber entwerfen lassen. *CD* und *NO* sind Viertelkreisbogen, deren Durchmesser *CO* gleich dem Durchmesser des herzustellenden Stabes ist. Mit der Weite *CD* beschreibt man von den Ecken *C*, *D*, *N*, *O* aus Bogen, welche die Durchmesser *CO* und *DN* schneiden, und in den Durchschnittspunkten *L* usw. liegen nun die Mittelpunkte für die Kreisbogen, *CI*, *DK*, *IN*, *KO*, welche die seitliche Begrenzung des Kalibers bilden. In den Eckpunkten *I* und *K*, wo die Fuge der beiden Walzen liegt, rundet man das Kaliber durch eine schwache Verbreiterung ein wenig aus, um die Walze vor Rissen zu schützen. Der Durchmesser des einzuführenden Stabes darf, wie erwähnt, nicht größer sein als *IK*, und nach einmaligem Durchgange wird der Stab um 90 Grade gedreht und nochmals hindurchgeführt, damit auch jene Abmessung auf den kleinsten Kaliberdurchmesser verringert werde.

Bei weniger ebenmäßigen Formen, deren Breite größer ist als die Dicke, ist ein solches Drehen des Walzstückes um 90 Grade nach jedem Durchgange nicht erforderlich; wohl aber schaltet man, wenn nach dem Hindurchgange durch mehrere Kaliber die Ausbreitung allzu beträchtlich geworden sein sollte, ein sogenanntes Stauchkaliber ein, dessen Zweck es ist, eine Zusammendrückung jener zu groß gewordenen Abmessung zu bewirken, nachdem das Walzstück um 90 Grade gedreht wurde. Dieser Fall tritt z. B. bei Eisenbahnschienenwalzen ein, deren Kalibrierung in in ihrer allgemeinen Anordnung bei Zweiwalzwerken durch die Abbildungen 305 und 306 veranschaulicht werden kann [1]). Abb. 305 zeigt die Kaliber der Vorwalzen, Abb. 306 die der Fertigwalzen. Die Kaliber 3, 5 und 8 sind Stauchkaliber.

Die Kalibrierung der Walzen für Profile welche an verschiedenen Stellen sehr verschieden starke Querschnittsabmessungen besitzen, wird durch den Umstand erschwert, daß die schwächeren Teile rascher abkühlen als die stärkeren, dadurch härter werden und dem Zerreißen leichter unterworfen sind. Man sucht diese Schwierigkeit dadurch zu umgehen, daß man die stärkeren Querschnitte zuerst, die schwächeren, rascher erkaltenden zuletzt ausbildet.

Eine andere, mitunter noch größere Schwierigkeit bereiten solche Profile, deren Kaliber an einzelnen Stellen des Querschnitts erheblich tiefer als an anderen eingeschnitten sind, an den ersten also der Walzenachse auch näher liegen als an den letzteren. Bei dem Kaliber einer Eisenbahnschiene, welche in liegender Stellung gewalzt werden muß, bildet der Fuß der Schiene eine solche eingeschnittene Stelle; in noch stärkerem Maße ist dieses bei vielen Sorten T- und I-Eisen der Fall, dessen Steg in dem Kaliber wagerecht liegt, während die Schenkel als senkrechte Einschnitte erscheinen. Die Umfangsgeschwindigkeit der Walze und somit auch das Maß der Streckung ist an den tief eingeschnittenen Stellen des Kalibers geringer als an höher liegenden; es tritt eine Zerrung

[1]) Aus J. Thieme, Indikatorversuche beim Walzen von Rohschienen auf Poutiloffhütte. St. Petersburg 1883.

ein, welche eine Beschädigung des Walzstückes oder Spannung in dem fertigen Stabe erzeugen kann. Es kommt bei derartigen Formen der Umstand hinzu, daß die Ausbildung der im Kaliber senkrecht stehenden Flächen (des Fußes der Schienen, der Schenkel des T-Eisens) nur durch Seitendruck erfolgen kann, und aus diesen Gründen wächst die Schwierigkeit der Herstellung mit der Breite jener Teile, welche in dem Kaliber als schmale und tiefe Einschnitte erscheinen.

Bei Dreiwalzen wird die Aufgabe, fortschreitend abnehmende Kaliberquerschnitte anzuordnen, durch den Umstand erschwert, daß hier die in der Mittelwalze enthaltene Kaliberhälfte sowohl mit dem Kaliber der Unterwalze als mit dem der Oberwalze zusammenpassen muß. Am wenigsten schwierig gestaltet sich die Lösung dieser Aufgabe, wenn in offenen Kalibern einfache Querschnitte gewalzt werden, bei denen es auf genaue Ebenmäßigkeit nicht ankommt

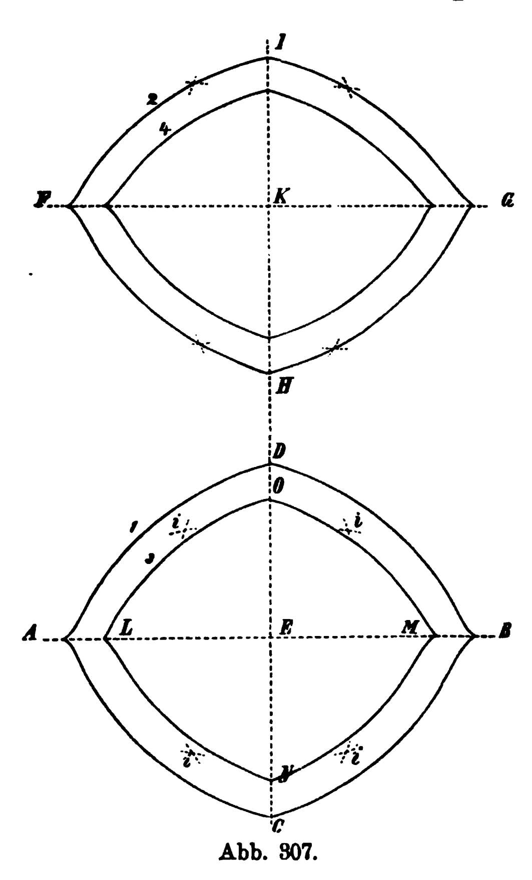


Abb. 307.

Abb. 307 zeigt z. B. wie man bei dem Entwurfe von Spitzbogenkalibern für Dreiwalzen verfahren kann. Der Abnahmekoeffizient sei hier wieder $^7/_8$; AB die Diagonale des durch das erste Kaliber hindurchgehenden Walzstückes. Man nimmt also $CD = {}^7/_8\, AB$, verteilt jedoch die gesamte Abnahme derartig, daß nur ein Drittel in die Unterwalze, zwei Drittel in die Mittelwalze fallen; es wird also $CE = AE - {}^1/_3 \cdot {}^1/_8\, AB = {}^{11}/_{24}\, AB$; $DE = AE - {}^2/_3 \cdot {}^1/_8\, AB = {}^{10}/_{24}\, AB$; $CE + DE = CD = {}^7/_8\, AB$. Die Bogen werden ebenso wie bei den Spitzbogenkalibern der Zweiwalzen (Abb. 303) gezeichnet, d. h. man nimmt die Weite $^3/_4\, AB$ in den Zirkel, beschreibt aus den gefundenen Eckpunkten A, D, B, C die Bogen, welche in den Punkten ii.. sich schneiden, und aus diesen Kreuzungspunkten die das Kaliber begrenzenden Bogen. Bei A und B gibt man auch hier eine schwache Erweiterung. Das zweite Kaliber liegt zwischen Mittel- und Oberwalze; die untere Hälfte wird durch die nämliche Furche der Mittelwalze gebildet, welche

als obere Kaliberhälfte des ersten zwischen Mittel- und Unterwalze liegenden Kalibers diente. *FHG* muß also gleich *ABD* sein. Alsdann nimmt man $HJ = {}^7/_8 CD$ und erhält so die vier Eckpunkte des zweiten Kalibers. Das dritte Kaliber liegt wieder zwischen Mittel- und Unterwalze; seine Breite ist gleich der Höhe des zweiten, also $LM = HJ$; die Eckpunkte *N* und *O* werden ebenso gefunden wie bei dem ersten Kaliber usf.

Hinsichtlich der Art und Weise, wie man auch bei Herstellung weniger einfacher Formen, z. B. Eisenbahnschienen, in Dreiwalzwerken versucht hat, dem Umstande bei der Kalibrierung Rechnung zu tragen, daß das Kaliber der Mittelwalze ebensowohl mit dem der Ober- als Unterwalze zusammengreift muß auf die unten gegebene Literatur, insbesondere die Abhandlungen von Daelen, Hollenberg und Diekmann über Walzenkalibrierung, verwiesen werden.

Gewöhnlich freilich schlägt man in solchen Fällen einen einfacheren Weg ein, die in Rede stehende Schwierigkeit zu um-

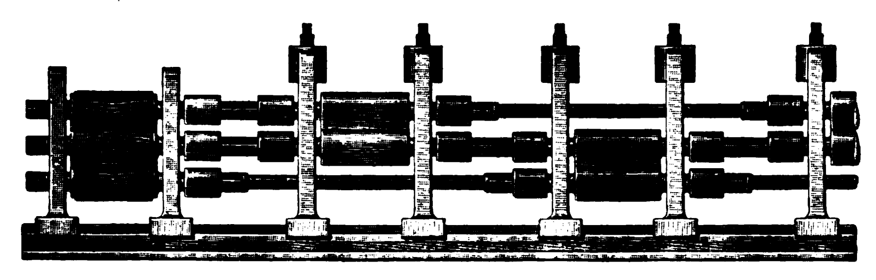


Abb. 308.

gehen: man verlegt die oberen und unteren Kaliber derartig, daß jedes Kaliber der Mittelwalze entweder einem Kaliber der Oberwalze oder einem solchen der Unterwalze, nicht aber beiden zugleich angehört, daß also oben und unten abwechselnd immer nur ein benutztes Kaliber erscheint, während über jedem unteren und unter jedem oberen benutzten Kaliber ein Blindkaliber, eine einfache Furche, in welcher der Ring der Mittelwalze Platz findet, erscheint.

Eine solche Verteilung der Kaliber hat jedoch die Folge, daß die Walzen ungünstiger ausgenutzt werden; für die gleiche Anzahl Kaliber ist die doppelte Zahl Walzen erforderlich als bei einem Dreiwalzwerke, dessen Walzen in der zuerst erwähnten Weise kalibriert sind, die anderthalbfache Zahl als bei einem Zweiwalzwerke mit der gleichen Kaliberzahl. Eine kalibrierte Walze aber ist ein kostspieliger Gegenstand, und jede Walze ruft Zapfenreibung hervor. In Rücksicht hierauf hat man, zuerst in Belgien, den Dreiwalzwerken mitunter eine derartige Anordnung gegeben, daß in einem und demselben Walzgerüste immer nur zwei Walzen übereinander liegen, die Stelle der dritten aber durch eine Spindel eingenommen wird, welche die Bewegung auf das benachbarte Walzgerüst überträgt. Die Abb. 308 zeigt diese Einrichtung. Die

beiden in einem Gerüste liegenden Walzen werden nunmehr ebenso wie Zweiwalzen kalibriert, d. h. die Blindkaliber fallen weg, und die Zahl der erforderlichen Walzen beträgt nur zwei Drittel von derjenigen, welche bei Anwendung von Blindkalibern erforderlich gewesen sein würde; das Walzstück aber muß, um zurückgewalzt werden zu können, nach dem benachbarten Gerüste hinübergeschafft werden. Letzterer Umstand mindert die Vorteile dieser Walzwerke beim Walzen schwerer Gegenstände ab; gut geeignet sind sie zum Walzen von Feineisen, welches in den Fertigwalzen eine bedeutende Länge annimmt und aus diesem Grunde, noch ehe es das eine Paar Walzen ganz verlassen hat, an dem vorderen Ende umgebogen und in den Walzen eines andern Gerüstes zurückgewalzt wird, so daß es mitunter gleichzeitig in vier oder fünf Kalibern gestreckt wird. Um jedoch beim Walzen schwererer Gegenstände den Vorteil des Dreiwalzwerks, d. h. die Möglichkeit, vor- und rückwärts zu walzen, zu erlangen, ohne Blindkaliber einschalten zu müssen, vereinigt man bisweilen zwei Paar Zweiwalzen in demselben Ständer in der Anordnung, wie es Abb. 309 darstellt. Auch für Feineisendarstellung hat man Walzwerke dieser Art, sogenannte Doppelduos, welche ursprünglich zum Walzen von Trägern bestimmt waren, in Anwendung gebracht. Die Lagerung der Walzen geschieht in derselben Weise wie bei gewöhnlichen Zweiwalzwerken.

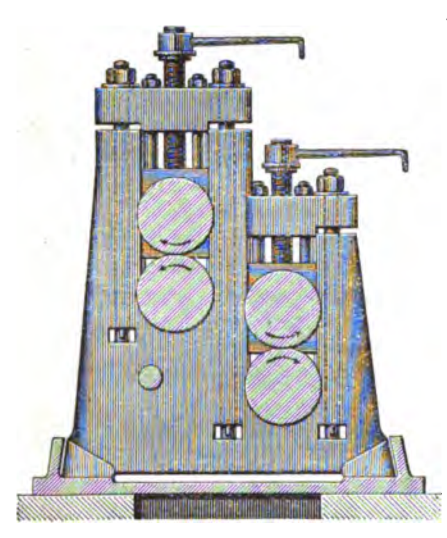


Abb. 309.

Um in besonderen Fällen ein Walzengerüst sowohl als Trio wie auch als Doppelduo benutzen zu können, dient das Wechselgerüst von Fr. Bonte, ausgeführt von der Duisburger Maschinenbau Aktiengesellschaft vormals Bechem & Keetmann, Duisburg[1]).

Einige besondere Kaliberformen verdienen noch kurze Erwähnung.

Wenn man auf der Oberfläche einer glatten Walze oder innerhalb eines Kalibers einzelne Vertiefungen oder erhabene Stellen anbringt, so werden sie auf dem hindurchgehenden Stabe sich abdrücken, und ein längerer Stab wird eine ganze Reihenfolge solcher Abdrücke aufweisen. Man nennt solche Kaliber periodische und benutzt sie für verschiedene Zwecke, deren Besprechung freilich mehr dem Gebiete der Metallverarbeitung als dem der

---

[1]) D.R.P. 185424. Abbildung in der Zeitschrift für Werkzeugmaschinen und Werkzeuge 1907, Seite 402 und in: Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1907, Seite 1241.

Eisenhüttenkunde angehört. Es sei deshalb nur erwähnt, daß sich beispielsweise Fabrikzeichen, Ziffern Inschriften usw. auf diese Weise leicht einwalzen lassen; Hufstabeisen mit vorstehenden Buckeln wird ebenso gewalzt usf.

Gibt man dem Umfange der einen von zwei zueinander gehörigen Walzen exzentrische Form, so lassen sich Gegenstände mit keilförmigem Querschnitte dazwischen walzen. Auch die Verwendung des Walzwerkes gehört in das Gebiet der Metallverarbeitung[1]).

Bei Herstellung von Flacheisen (mit flach rechteckigem Querschnitte) wendet man bisweilen, um an Walzenlänge zu sparen, Walzen mit offenen Kalibern an, zwischen denen die Ränder fehlen, so daß der Durchmesser der Walzen von dem einen Ende zum andern terrassenartig mehr und mehr abnimmt. Solche Walzen heißen Staffel- oder Stufenwalzen. Da der Seitendruck in Kalibern fehlt, kann zwar das Strecken rasch vorwärts gehen, die Ränder des Eisens aber werden nur unvollkommen ausgebildet.

e) Die Universalwalzwerke.

Man nennt Universalwalzwerke solche Walzwerke, welche die Möglichkeit gewähren, ohne Anwendung eigentlicher Kaliber Stäbe von zwar ähnlichen, aber verschieden großen Querschnitten zu walzen. Man erspart dadurch an Walzen, und die Erfindung eines gut brauchbaren Universalwalzwerkes ist daher seit Jahrzehnten das Ziel zahlreicher Walzwerksleute gewesen.

Vorzugsweise sind es breite Stäbe mit rechteckigem Querschnitt (Flachstäbe), für deren Herstellung die Universalwalzwerke Benutzung gefunden haben. Jene Stäbe finden vornehmlich als Bauwerkeisen häufige Benutzung.

Wenn man bei einem Walzwerke außer einem Paar wagerechter Walzen mit entlasteter, verstellbarer Oberwalze auch ein Paar senkrechter Walzen unmittelbar vor oder hinter jenen anordnet, deren Abstand voneinander ebenfalls verstellbar ist, und welche die Seitenflächen des hindurchgehenden Walzstückes bearbeiten, so lassen sich mit Hilfe dieser zwei Paar Walzen offenbar Flachstäbe von verschiedenen Querschnittsabmessungen herstellen. Das erste derartige Universalwalzwerk wurde durch Daelen in Hoerde in den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts erbaut, und noch heute findet man nicht selten auf den Eisenwerken Daelensche Universalwalzwerke der ursprünglichen Einrichtung, von denen eins in Abb. 310 dargestellt ist. Es ist ein Zweiwalzwerk; *AA* sind die wagerechten, *BB* die senkrechten Walzen. Erstere erhalten, wie gewöhnlich, ihren Antrieb durch die beiden Getriebe *CC* und sind mit Hilfe der unterhalb der Sohlplatte sichtbaren Hebel entlastet; auf die senkrechten Walzen wird die Bewegung durch die von dem oberen Getriebe *C* aus angetriebenen Räder *D* und *E* übertragen. In Rücksicht auf den Umstand, daß die Bewegung des

[1]) Abbildungen solcher Walzen: A. Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Auflage, Seite 323 und 324.

Walzstückes vor dem Eintreten zwischen die wagerechten Walzen langsamer, nach dem Herauskommen aber rascher als diejenige der Walzenoberfläche ist, die Bewegungsgeschwindigkeit der Walzenoberflächen *BB* mithin auch etwas anders sein muß als diejenige

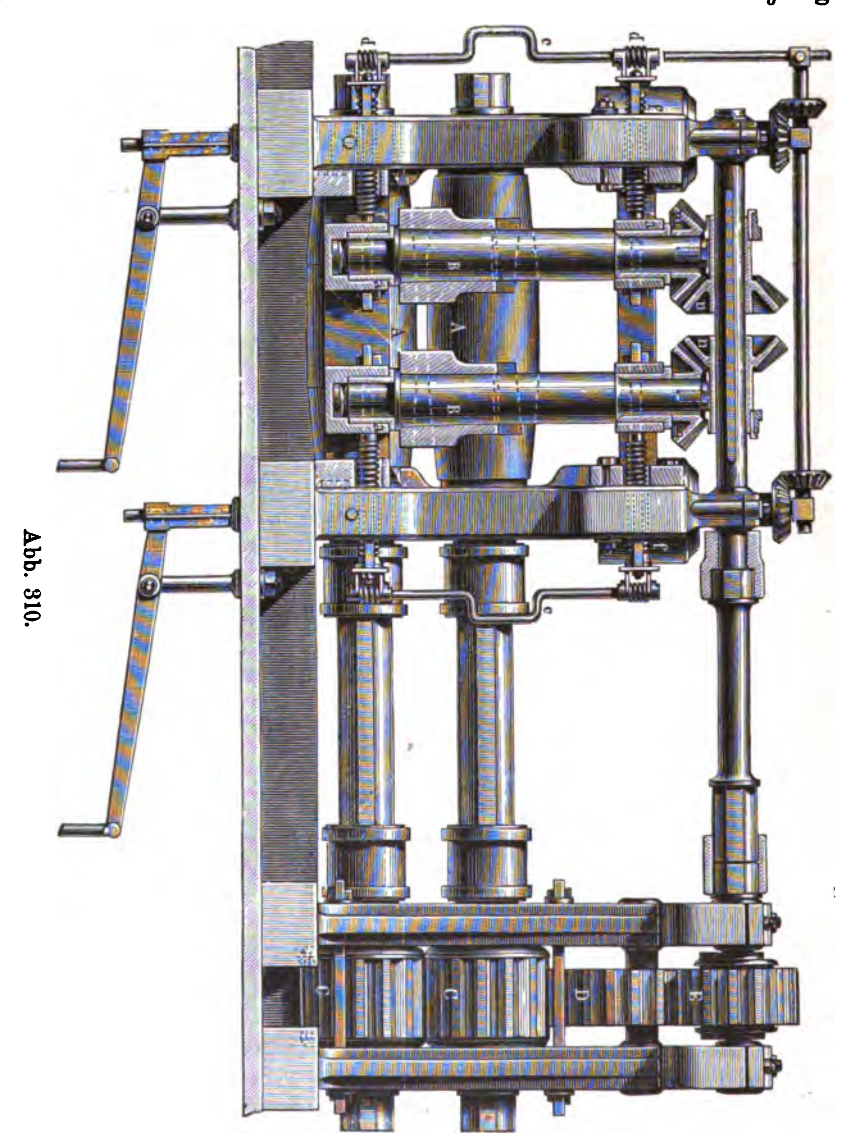


Abb. 310.

der Walzen *AA*, eine ganz genaue Regelung dieser Geschwindigkeit von vornherein aber nicht immer möglich ist, sitzt das Getriebe *E* nicht fest auf seiner Welle, sondern es ist zwischen zwei Reibungsscheiben eingeklemmt, welche ihm bei größeren Widerständen eine gewisse Beweglichkeit sichern, um Stauchung oder Zerrung des Walzstückes zu vermeiden.

Die verschiebbar auf ihrer Welle befestigten Winkelräder *nn*, *mm* übertragen die Bewegung auf die Achsen der senkrechten Walzen, welche letztere aus Stahl gegossen und auf den Wellen befestigt sind.

Die Verstellung der Walzen *AA* in senkrechter Richtung erfolgt, wie bei Blechwalzen, durch Anziehen der Druckschrauben; die Verstellung der Walzen *BB* in wagerechter Richtung geschieht mit Hilfe der gekröpften Spindeln *cc*. Jede der beiden Walzenachsen steckt in zwei Lagern *aa*, welche mit wagerechten Schrauben *ff* verbunden sind. Die Muttern dieser Schrauben sind in den Walzenständern befestigt, so daß durch Drehung der Schrauben auch eine geradlinige Vor- oder Rückwärtsbewegung sowohl der Schrauben selbst als der an ihnen befestigten Lager mit den Walzen hervorgebracht wird. Auf den nach auswärts gerichteten Köpfen der Schrauben sind Schneckenräder befestigt (in der Abbildung sind die Schneckenräder nicht erkennbar), welche von den an den Enden der Spindeln *cc* sichtbaren Schnecken *dd* angetrieben werden. Die Lager der Spindeln *cc* sind mit einer Hülse über die Enden der Schrauben *ff* geschoben, so daß sie von diesen bei ihrer Fortbewegung mitgenommen werden und der Eingriff der Schnecken in die Räder unverändert bleibt.

Von dem Umstande, ob die senkrechten Walzen vor oder hinter den wagerechten liegen, hängt die Form der Ränder des herauskommenden Walzstückes ab. Liegen sie davor, geht das Walzstück also zuletzt zwischen den wagerechten Walzen hindurch, so erhält es hier Oberdruck, wird ein wenig ausgebreitet und bekommt einen rundlich heraustretenden Rand; liegen die senkrechten Walzen hinter den wagerechten, so wird der Rand hier gestaucht und tritt gratartig über die Fläche des Walzstückes hinaus.

Bei Neuanlagen von Universalwalzwerken zieht man dieser beschriebenen älteren Form gewöhnlich ein Dreiwalzwerk vor, welches eine raschere Arbeit ermöglicht. Die Abbildungen 311 und 312 stellen ein solches Universal-Dreiwalzwerk dar[1]). Die beiden Wasserdruckzylinder *aa* dienen zur Gewichtsausgleichung der Oberwalze. Die Mittelwalze muß gehoben werden können, wenn das Walzstück zwischen ihr und der Unterwalze hindurchgehen soll. Zur Erleichterung der Aufgabe ist ihr Durchmesser, wie beim Lauthschen Blechwalzwerke (Seite 135 III), kleiner gewählt als der der Ober- und Unterwalze, und ihre Lager ruhen ebenfalls, wie die der Oberwalze, auf senkrechten Tragstangen, welche durch Wasserdruck gehoben und gesenkt werden können. Zu diesem Zwecke trägt der Kolben des in der Mitte zwischen beiden Walzenständern unterhalb der Sohlplatte aufgestellten Wasserdruckzylinders *b* (Abb. 311) an einem Querhaupte einen in Spreizen aufgehängten Rahmen, an welchen die Tragstangen für die Lager beider Zapfen befestigt sind, und durch Zuleiten von Druckwasser unter den Kolben des Zylinders wird die Walze gehoben. Im übrigen erfolgt die Druckübertragung ganz wie bei dem Lauth-

---

[1]) Auch das Walzwerk Abb. 297 auf Seite 144 III ist ein Universal-Dreiwalzwerk.

schen Blechwalzwerke. Vor und hinter den wagerechten Walzen sind je zwei senkrechte Walzen angeordnet (in Abb. 312 ist die eine dieser senkrechten Walzen sichtbar, die zweite weggenommen gedacht); ihr Antrieb erfolgt in derselben Weise wie bei dem Zweiwalzwerke Abb. 310, ihre Verstellung jedoch nicht von Hand, sondern durch eine neben dem Walzwerke aufgestellte, in der Abbildung nicht sichtbare Zwillingsdampfmaschine. Dieselbe Maschine dient auch für die Bewegung der Druckschrauben für die Oberwalze durch Vermittelung der Welle *c*. Da die Verstellbarkeit der Oberwalze erheblich ist und die Antriebsspindel demnach bedeutenden Änderungen ihrer Lage unterworfen ist, dient ein durch ein Gegengewicht und eingeschaltete Federn getragenes Lager für ihre Unterstützung [1]).

Seltener als zum Walzen von breitem Flacheisen hat man Universalwalzwerke zur Herstellung von I-Eisen und anderen Formen des Handelseisens benutzt. Näheres hierüber findet der Leser in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

f) Die Walzenzugsmaschinen und der Arbeitsverbrauch beim Walzen.

Die zum Betriebe eines Walzwerkes erforderliche Maschine nennt man Walzenzugsmaschine.

Nur in verhältnismäßig seltenen Fällen ist eine ausreichend große Wasserkraft verfügbar; in neuester Zeit hat man bisweilen Dynamomaschinen zur Anwendung gebracht [2]); am häufigsten findet noch die Dampfmaschine Verwendung. Fast immer benutzt man liegende Maschinen. Expansion kommt fast regelmäßig, Kondensation häufig zur Anwendung. Eine einzige größere Maschine treibt nicht selten mehrere Walzstrecken; zur Bewegungsübertragung benutzt man in diesen Fällen Seile oder auch Riemen statt der bei kleinen Walzwerken in früherer Zeit üblichen Getriebe und Wellen. Für die in gleicher Richtung laufenden Walzwerke kommen einzylindrige oder Verbundmaschinen in Anwendung, für Kehrwalzwerke zweizylindrige Maschinen, deren Kurbeln um 90 Grade verstellt sind, oder häufig dreizylindrige mit Kurbelstellungen von 120 Graden [3]).

Wichtig ist die Bemessung der erforderlichen Leistungsfähigkeit einer anzulegenden Walzenzugsmaschine. Eine allzu reichliche Veranschlagung der Kraftleistung verteuert die Anlagekosten und erhöht den Dampfverbrauch; schlimmer noch ist eine zu geringe Leistung der Maschine: das Walzen wird verzögert, die Arbeitslöhne und der Brennstoffverbrauch für das Wärmen der Arbeitsstücke werden gesteigert.

Die gesamte von der Maschine zu leistende Arbeit setzt sich

---

[1]) Eine vollständige Abbildung dieses Walzwerks mit den Rollentischen und den sonstigen Hilfsvorrichtungen enthält „Stahl und Eisen" 1896, Nr. 10, Tafel X.

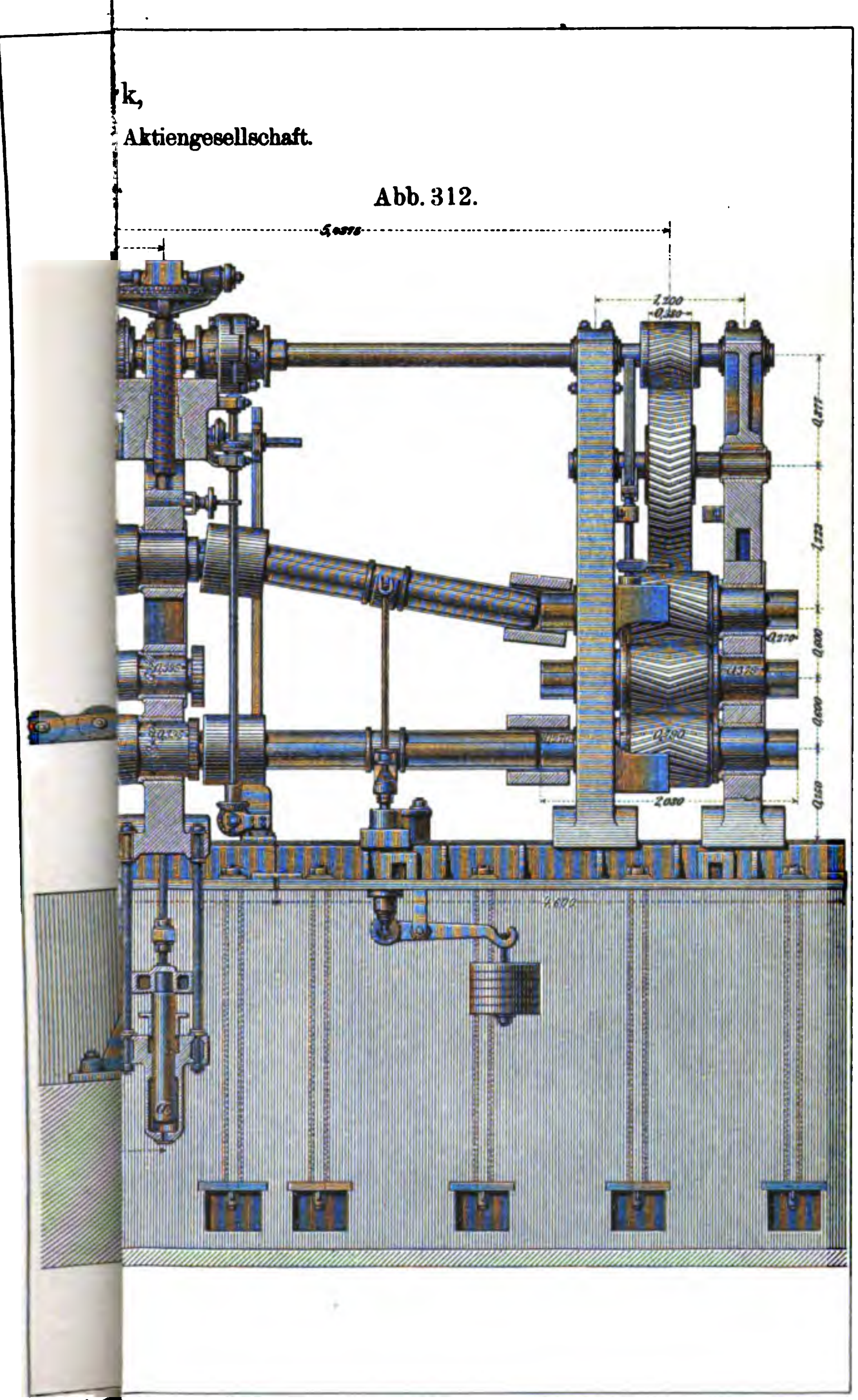
[2]) Beispiel des elektrischen Antriebes für ein Kupferwalzwerk: „Stahl und Eisen" 1899, Seite 905.

[3]) Vorteile dieser Maschinen: „Stahl und Eisen" 1900, Seite 871.

k,

Aktiengesellschaft.

Abb. 312.



Verlag

Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

zusammen aus der zum Strecken und Hindurchziehen des Walzstückes und der Überwindung der Reibung erforderlichen Arbeit. Erstere ist von der Beschaffenheit und Temperatur des Walzstückes wie von dem Abnahmekoeffizienten abhängig, letztere von der Art und Weise der Lagerung, der Instandhaltung der Lager, der Zahl der angetriebenen Walzgerüste und dem durch die Druckschrauben der Ständer ausgeübten Drucke. In jedem Falle sind die Reibungsverluste beträchtlich, und sie können bis 50 v. H. der geleisteten Gesamtarbeit betragen[1]). Von dem Schwungrad aber, welches bei allen nur in einer Richtung laufenden Walzwerken zur Anwendung kommt, wird während des Durchganges des Walzstückes Arbeit abgegeben, und die erforderliche Kraftleistung der Maschine fällt um so kleiner aus, je größer die Pausen zwischen den Durchgängen sind (während deren das Schwungrad Arbeit aufspeichert), und je größer das Gewicht des Schwungrades ist. Andrerseits muß selbstverständlich das Arbeitsvermögen der Maschine mit den Ansprüchen wachsen, welche an die Erzeugungsfähigkeit des Walzwerkes gestellt werden. Je mehr Stücke in derselben Walzstrecke gleichzeitig gewalzt werden, je stärker die Abnahme in den Kalibern ist, und je rascher die Walzen laufen, desto größer ist der Arbeitsverbrauch, und die ungeheure Massenerzeugung mancher neuerer Walzwerke würde ohne Anwendung sehr kräftiger Maschinen nicht möglich sein.

Aus diesen Darlegungen folgt, daß eine theoretische Berechnung der erforderlichen Kraftleistung der Betriebsmaschine eines Walzwerkes nicht ausreichend ist, ein zuverlässiges Ergebnis zu liefern. Man ist gezwungen, sich auf Erfahrungen im Betriebe zu stützen.

Für Rohschienenwalzwerke, Zwei- oder Dreiwalzwerke, zum ersten Auswalzen des Schweißeisens bestimmt, genügt eine Arbeitsleistung der Maschine von 50 bis 80 Pferdestärken; Zweiwalzwerken für gewöhnlichere Sorten Handelseisen mittlerer Abmessungen (Quadrateisen, Rundeisen usw.), welche etwa 75 Umgänge in der Minute machen, gibt man 75- bis 150pferdige Maschinen; Schnellwalzwerke für feine Eisensorten (Walzdraht) mit etwa 400 Umgängen in der Minute und sechs bis acht Walzengerüsten erhalten Maschinen von 400 bis 800 Pferdestärken. Kleine Blechwalzwerke mit Schwungrad für dünne Eisensorten (Schwarzblech) lassen sich bei 40 Umgängen in der Minute schon mit einer 30pferdigen Maschine treiben; Walzwerke für leichtere Kesselbleche erhalten 150- bis 300pferdige Maschinen, Schienen- und Trägerwalzwerke mit zwei Walzgerüsten 800- bis 2000pferdige Maschinen. Alle diese Angaben beziehen sich auf Walzwerke, welche nur in einer Richtung laufen und demnach mit einem Schwungrade versehen sind. Kräftigere Maschinen sind für den Betrieb von Kehrwalzwerken erforderlich, wie früher erläutert wurde. Blockwalzwerke dieser Art erhalten Maschinen von 1500 bis 3000 Pferdestärken, Walzwerke für schwere Träger und Bleche 2000 bis 3000, mitunter sogar bis zu 7000 Pferdestärken, für Panzerplatten ebensoviel.

---

[1]) Versuche: „Stahl und Eisen“ 1881, Seite 57; 1884, Seite 697; the Journal of the Iron and Steel Institute 1900 II, Seite 260.

5. Die Luppenquetschen und Luppenmühlen.

Die in der Überschrift genannten Vorrichtungen sind lediglich dazu bestimmt, die weichen, von flüssiger Schlacke durchsetzten, formlosen Eisenklumpen, Luppen genannt, welche das erste rohe Erzeugnis der Schweißeisendarstellung bilden, einer vorläufigen Reinigung von Schlacke zu unterziehen. Zur Bearbeitung von Flußeisenblöcken oder für eine weitergehende Formgebung des Eisens sind sie nicht geeignet.

Geschieht jene Reinigung durch mehrfach wiederholtes Drücken des weichen Eisens, so heißt die Vorrichtung Luppenquetsche oder

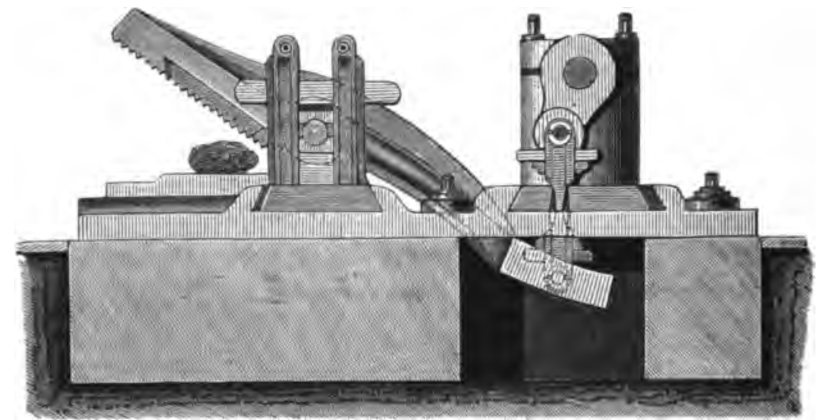


Abb. 313.

Luppenpresse; wird dagegen die Luppe zwischen Walzen gerollt und dabei ausgedrückt, so nennt man die Vorrichtung Luppenmühle.

Verschiedene Einrichtungen sind im Laufe der Zeit für den genannten Zweck ersonnen worden, von denen jedoch nur wenige sich einer häufigeren Anwendung zu erfreuen vermochten. In der Jetztzeit besitzt keine mehr eine besondere Bedeutung. Sie sind fast überall durch den Dampfhammer ersetzt.

Die am häufigsten benutzte Vorrichtung dieser Art, welche früher in fast jeder Puddelhütte angetroffen werden konnte, ist die in Abb. 313 dargestellte Luppenquetsche, welcher man ihrer eigentümlichen Form halber auch scherzweise den Namen Alligatorquetsche gegeben hat. Sie besteht aus einem um wagerechte Zapfen schwingenden, kräftig gebauten Gußeisenhebel, dessen längeres Ende durch eine Schubstange oder eine Scheibenkurbel eine auf und nieder gehende Bewegung erhält. Das kürzere Ende des Hebels bildet gewissermaßen den Oberkiefer des Maules. An seiner Unterseite ist eine auswechselbare Platte aus Hartguß oder Stahl eingesetzt, welche mit nach rückwärts gerichteten Zähnen zum besseren Erfassen der Luppe versehen wird. Die untere Hälfte des Maules bildet der festliegende, aber ebenfalls auswechselbare Amboß. An seiner vorderen Kante befindet sich

ein treppenstufenartiger Absatz, welcher eine Stauchung der während des Auspressens zu einem prismatischen Blocke geformten Luppe in der Längenrichtung ermöglicht.

Man gibt den Luppenquetschen einen Hub von 0,25 bis 0,30 m am äußersten Ende. Die Länge des vorderen Hebelarmes beträgt bis zum Drehungspunkte etwa 1,3 m, die Länge des hinteren Hebelarmes etwa 2 m. Die Breite des vorderen Teiles ist ungefähr 0,5 m. Bei 60 bis 100 Hüben in der Minute und einem Arbeitsaufwande von 10 bis 12 Pferdestärken ist eine solche Luppenquetsche imstande 12 bis 16 Puddelöfen zu bedienen.

Im Vergleiche zu den Dampfhämmern haben die Luppenquetschen zwar den Vorteil der billigeren Anlage und einfacheren Bedienung, aber die Größe der zu zängenden (auszuquetschenden) Luppen ist bei ihnen an gewisse Grenzen gebunden, und das Aufpressen der Schlacke erfolgt weniger vollständig als bei der Bearbeitung unter dem Hammer. Letzterer Umstand ist es vornehmlich, welcher ihren Ersatz durch Dampfhämmer in den meisten Puddelhütten, wo sie früher in Benutzung waren, veranlaßte.

Noch seltener sind Luppenmühlen in Anwendung. Es möge deshalb hinsichtlich ihrer Einrichtung nur auf die gegebene Literatur, insbesondere auf v. Hauer, Hüttenwesenmaschinen, sowie auf Wedding, Darstellung des schmiedbaren Eisens, verwiesen werden, in welchen beiden Werken die meisten oder sämtliche vorgeschlagenen Formen dieser Maschinen mit ausreichender Ausführlichkeit besprochen worden sind.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

J. v. Hauer, Die Hüttenwesenmaschinen. 2. Auflage. Leipzig 1876 (Seite 290 bis 468 Hämmer, Seite 470 bis 477 Luppenpressen und Luppenmühlen, Seite 478 bis 562 Walzwerke).
S. Jordan, Album du cours de métallurgie. Paris 1875 (Tafel 84 bis 88 Dampfhämmer, Tafel 74, 75, 89 bis 103, 114 bis 122 Walzwerke).
P. v. Tunner, Über die Walzenkalibrierung für die Eisenfabrikation. Leipzig 1867.
Daelen, Hollenberg und Diekmann, Die Kalibrierung der Eisenwalzen. Drei von dem Vereine zur Beförderung des Gewerbfleißes preisgekrönte Abhandlungen. Berlin (Nicolai) 1870.
F. Neveu & L. Henry, Traité pratique du laminage de fer. Paris 1881 (enthält zahlreiche Beispiele der Kalibrierung).
E. F. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Leipzig 1892. Band 3, Seite 577 bis 677, 719 bis 795.
Cl. Chômienne, Fabrication de l'acier. Paris 1898, Seite 73 bis 141.
L. Geuze, Traité théoretique et pratique du laminage du fer et de l'acier. Paris 1900.
Alb. Brovot, Das Kalibrieren der Walzen. Leipzig 1903.
Wilh. Philippi, Elektrische Kraftübertragung. Leipzig 1905.

b) Abhandlungen.

J. A. Herrick, The eighty-ton-steam-hammer in Creusot. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 8, Seite 560.
Die Fundamentierung der Dampfhämmer. „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 71.

The 125 t Betlehem Hammer. Iron Age, Band 52, Seite 60; „Stahl und Eisen" 1893, Seite 679.

The Marrel 100 t Steam Hammer. Engineering and Mining Journal, Band 56, Seite 321.

C. A. Ångström, Über Dampfhämmer und hydraulische Pressen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1891, Seite 293.

C. A. Ångström, Über hydraulische Schmiedepressen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1896, Seite 457.

F. Gautier, Forgeage comparé au marteau-pilon et à la presse. Bulletin de la sociéte de l'industrie minérale 1889, Seite 839.

W. D. Allen, Die Schmiedepresse. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 895.

R. M. Daelen, Die Schmiedepresse der Compagnie des forges de Chatillon-Commentry. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 57.

R. M. Daelen, Die Pressen mit hohem Wasserdruck im Eisenhüttenbetriebe. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 155.

Ch. Dufour, Étude sur les presses à forger. Bulletin de la société de l'industrie minérale, Reihe 3. Band 6 (1892), Seite 1037.

The Breuer-Schumacher 1200 t hydraulic forging press. Engineering, Band 57, Seite 241.

R. H. Tweddell, Schmieden mittels hydraulischen Drucks. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 900.

B. Meyer, Ersatz der Luppenhämmer durch dampf-hydraulische Pressen. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 257.

8000 Ton Hydraulic Forging Press at Vickers Works. Engineering, Band 64, Seite 557.

Hydraulische Schmiedepresse von A. Borsig. Dinglers polyt. Journal, Band 307, Seite 123.

R. M. Daelen, Über den Betrieb von Schmiedepressen. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 314.

Böck, Versuche über den Kraftaufwand beim Walzen von Blech. Jahrbuch der österr. Bergakademien, Band 21 (1873), Seite 314.

C. Fink, Theorie der Walzenarbeit. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preußen, Band 22, Seite 200.

R. M. Daelen, Über die Bestimmung der Kraftleistung der Walzenzugsmaschinen und des Kraftverbrauches beim Walzen von Stahl und Eisen. Kommissionsbericht, erstattet dem Verein deutscher Eisenhüttenleute. „Stahl und Eisen" 1881, Seite 57 und 132.

E. Blass, Beitrag zur Theorie der Abnahmekoeffizienten bei der Walzenkalibrierung. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 189.

E. Blass, Bemerkungen über einige beim Walzen auftretende Erscheinungen. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 233.

E. Blass, Zur Theorie des Walzprozesses. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 283.

Hollenberg, Bemerkungen zu den Vorgängen beim Walzen von Eisen. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 121.

J. Lüders, Kurze Besprechung der im Jahre 1881 angestellten Versuche über den Kraftverbrauch und die Arbeitspressungen des Walzprozesses. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 697.

R. M. Daelen, Über das Vor- und Rückwärtswalzen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1875, Seite 98.

Helmholtz, Über Reversiermethoden bei Walzwerken. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 16, Seite 667.

R. M. Daelen, Über die Lagerung der Walzen in ihren Gerüsten. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1872, Seite 662; 1877, Seite 36.

Lagerung der Walzenzapfen bei Triowalzwerken. Österr. Zeitschrift 1885, Seite 326.

A. Spannagel, Neue Schnellwalzwerksanlage der Eisenhütte Phönix. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 186.

H. Fahlenkamp, Hebetisch für Walzstraßen. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 836.

A. L. Holley, American Rolling Mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874 I, Seite 348.

Über neuere Blockwalzwerke. „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 495, 774.
Das Blockwalzwerk der Neu-British Iron Co. in Birmingham. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 324.
Hydraulische Anstellung von Blockwalzen. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 591.
Blockwalzwerk in Homestead. „Stahl und Eisen“, Tafel 3.
Blockwalzwerk der Union in Dortmund. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 53.
Trioblockwalzwerk der Maximilianshütte. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1896, Seite 1.
Reversierwalzwerk in Hörde. „Stahl und Eisen 1893, Seite 12.
Lantz, Blockstraßen. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 997.
Das Trägerwalzwerk der Aktiengesellschaft Peiner Walzwerk. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 525.
Über Walzen und Walzwerke. Dinglers polyt. Journal, Band 289, Seite 169, 195, 217, 241, 265.
J. Riley, Die maschinellen Einrichtungen der neueren Stahlwerke in England und Schottland. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 1022; 1897, Seite 31 und 108.
Neue amerikanische Walzwerke. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 136, 181, 214.
M. Simmersbach, Neue amerikanische Walzwerksanlagen. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 709.
E. Weber, Neue Walzenstraßenordnung. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 788.
E. Weber, Neue Walzstraßen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 421.
G. v. Bechen, Mechanisch betriebene Walzenstraßen. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 934.
Lauthsches Walzwerk für Darstellung von Weißblechen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1889, Seite 63.
Max Meier, Die Herstellung der Halbfabrikate, Schienen, Schwellen und Träger „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 1017.
A. Sattmann, Über Fortschritte in den Walzwerkseinrichtungen. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 72.
R. M. Daelen, Über die Erzeugung von Walzdraht. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 177.
F. H. Daniels, Das Drahtwalzen und seine Entwickelung in Amerika. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 154 (aus Iron Age, Band 52).
Michael Baačkes, Die Entwickelung des Drahtwalzwerks mit besonderer Berücksichtigung von Nordamerika. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 66.
L. Katona, On suggested improvements in rolling mills. The Journal of the Iron and Steel Institute 1900 II, Seite 259.
L. Valant, Tracé des cannelures de cylindres des divers systèmes d'emboitement des cylindres usités dans la pratique. Revue universelle, Band 28 (1870), Seite 79.
W. Hewitt, Construction of passes in rolls for reducing metals. Engineering and Mining Journal, Band 46, Seite 148.
C. A. Ångström, Walzen- und Kaliberkonstruktion für Eisenwalzwerke. Jahrbuch der österr. Bergakademien 1891, Seite 353.
W. Hirst, Das Kalibrieren von Vorwalzen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 241 (aus The Iron Age 1900).
W. Hirst, Das Kalibrieren von Drahtwalzen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 1193 (aus The Iron Age vom 10. Mai 1900.
Fr. Horn, Über Triowalzen. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 875.
P. Eyermann, Kontinuierliches Bandeisenwalzwerk in Youngstown. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 982.
E. Kiesselbach, Elektrischer Antrieb in Hütten- und Walzwerken. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 905.
A. Schwarze, Neue elektrische Antriebe bei Trio-, Blech- und Universalwalzwerken. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 1081.
E. Langheinerich, Amerikanische Eisenhütten und deren Hilfsmittel. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 1220, 1294.

A. Sattmann, Die Walzwerkseinrichtungen der Gegenwart. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1209, 1288, 1348.
Die neue 950er Duo-Reversierstraße mit elektrisch fahrbaren Rollgängen in Friedenshütte. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 198, Taf. III.
H. Brauns, Die neue Walzwerksanlage der Dortmunder Union. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 591, Taf. XI.
Über Universalwalzwerke. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1881, Seite 570.
H. Sack, Neue Profileisen-Universalwalzwerke. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 765.
Ein neues Universalwalzverfahren. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 451.
The Freeman Universal Mill. The Iron Age 1893, Seite 674.
The Reese Universal Beam Mill. The Iron Age 1893, Seite 724.
Blech- und Plattenwalzwerke der Stahlwerke in Longwy. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 397.
Trio-Universalwalzwerk der Kladnoer Hütte. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 369.
Das neue Platinenwalzwerk der Rasselsteiner Eisenwerksgesellschaft. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 881.
Bicherouxs Walzverfahren für breitfüßige Formeisen. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 308.
R. M. Daelen, Über Hohlkammwalzen mit innerem Angriff der Spindeln. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 279; 1902, Seite 195.
H. Fahlenkamp, Bemerkungen über Walzenzugsschwungräder. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 999.
F. Moro, Mitteilungen aus dem Grazer Südbahnwalzwerk (Beschreibung der Walzenzugsmaschine für ein Kehrwalzwerk). „Stahl und Eisen" 1889, Seite 1.
Reversiermaschine für das Panzerplattenwalzwerk von Fr. Krupp. „Stahl und Eisen" 1890, Seite 509.
Neuere Walzwerksmaschinen. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 182.
C. Kiesselbach, Tandem-Reversiermaschine. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 833.
C. Sondermann, Verbund-Walzwerksmaschinen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1899, Seite 72.
C. Kiesselbach, Die Motoren zum Antrieb der Walzenstraßen. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 408, 463.
Walzenzugsmaschinen. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 661.
L. Ehrhardt, Über Reversiermaschinen für Walzwerke. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 859.
L. Ehrhardt, Neuere Gesichtspunkte und Erfahrungen im Walzwerksbetriebe. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 871 (Drillingsmaschinen für Walzwerke).
Reversiermaschine für St. Chamond. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 1107.
Zur Frage der Gas-Walzenzugsmaschine. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 750.
R. Tonkow, Études sur les lois du laminage du fer et du calibrage des cylindres. Revue universelle Band 60 (1902), Seite 53.
F. Janssen, Elektrisch betriebene Feinstraße. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 89.
Die Walzwerksanlage der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hüttengesellschaft Differdingen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 53 u. Taf. I.
Das neue Stahlwerk und die neuen Walzwerksanlagen der Carnegie Steel Company. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 176.
F. Fröhlich, Die Walzwerke auf der Düsseldorfer Ausstellung. Zeitschr. des Ver. deutsch. Ingenieure 1902, Seite 1417; 1903, Seite 261, 352.
C. Ilgner, Der elektrische Antrieb von Reversier-Walzenstraßen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 769.
Universal Trio-Walzwerk, ausgeführt von der Maschinenfabrik Sack & Rath. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 930.
F. Janssen, Ein elektrisch betriebener Blockrollgang. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 983.

E. Kirchberg, Die Kalibrierung der Walzen im Walzwerksbetriebe. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1141.
Elektrisch betriebene Walzwerksanlage. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1372.
Universalwalzwerk der Burbacher Hütte. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 4.
C. Ilgner, Über den Ausgleich von Kraftschwankungen bei elektrisch betriebenen Walzenstraßen. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 129.
C. Köttgen, Elektrischer Antrieb von Walzwerken. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 209.
Kontinuierliches Stabeisenwalzwerk. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 243.
K. Gruber, Die neue Drahtwalzwerksanlage in Differdingen. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 377.
O. Goldstein, Walzwerksanlage in Montercy (Mexiko). „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 689.
E. Richarme, Des laminoirs à blooms, billets, pourtrelles et rails. Bulletin de la Société de l’industrie minérale 1904, Seite 119, 371.
Neue Fein- und Mittelwalzwerksanlage. „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 988.
Fr. Fröhlich, Trägerwalzwerk der Friedenshütte. Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1904, Seite 1405.
Fr. Fröhlich, Die neue Universalstraße der Burbacher Hütte. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1904, Seite 1651.
The Lackawanna Slabbing Mill. The Iron Age 1905, Seite 65.
W. Schnell, Panzerplattenwalzwerk der französischen Marineverwaltung. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 199.
A. Sattmann, Das Kalibrieren der Walzen. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 599.
Fr. Fröhlich, Neuere Walzwerke. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1905 I, Seite 1440.
A. Bayer, Elektrischer Antrieb von Walzwerken. Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1905, Seite 493.
Ortmann, Über neuere Konstruktionen an Walzwerksantrieben und Zwischengliedern. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 17.
F. Weideneder, Elektrischer Antrieb an Reversierwalzenstraßen im Wettbewerbe mit Dampfmaschinenantrieb mit und ohne Abdampfturbinen. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 150.
F. Gerkrath, Antriebsarten von Walzenstraßen. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 451, 528.
Zeitschrift für elektrische Kraftbetriebe und Bahnen. München 1907, Heft 9, Seite 167.

III. Die Darstellung des Schweißeisens.

1. Allgemeines.

Alles bis gegen Ende des 18. Jahrhunderts dargestellte schmiedbare Eisen war Schweißeisen. Beim Beginne des 19. Jahrhunderts erzeugte man zwar bereits in mehreren Fabriken Flußstahl durch Schmelzen von Schweißstahl in Tiegeln und nannte ihn Gußstahl; aber seine Menge war unbedeutend im Vergleiche zu der Menge des ohne Schmelzung verarbeiteten Schweißstahls, und weiches Flußeisen vermochte man überhaupt nicht darzustellen. Erst nachdem die Mitte des 19. Jahr-

hunderts bereits überschritten war, erfand man Verfahren, welche nicht nur die Gewinnung eigentlichen Flußstahls zu weit billigeren Entstehungskosten als durch das Tiegelschmelzen ermöglichten, sondern auch bald für die Erzeugung eines kohlenstoffarmen, weichen Flußeisens ausgebildet wurden. Von dieser Zeit an begann ein Kampf zwischen Flußeisen und Schweißeisen um die Herrschaft auf dem Eisenmarkte, und bereits hat sich der Sieg auf die Seite des Flußeisens geneigt (vergleiche auch Seite 14 I).

Die schon mehrfach erwähnte kennzeichnende Eigentümlichkeit des Schweißeisens ist sein Gehalt an eingemengter Schlacke. Diese Schlacke beeinträchtigt als eingelagerter fremder Körper die Festigkeit und die Zähigheit des Eisens und läßt sich nur teilweise durch fortgesetzte mechanische Bearbeitung entfernen, niemals aber auch hierdurch vollständig. Je höhere Ansprüche an die Eigenschaften des Schweißeisens gestellt werden, desto länger muß jene Bearbeitung fortgesetzt, auf desto dünnere Querschnitte muß das Eisen dabei ausgestreckt werden.

Im gewöhnlichen Handelseisen beträgt der Schlackengehalt mitunter mehr als 2 v. H.; in besseren Eisensorten, zumal im Schweißstahl, ist er erheblich geringer. Die Schlacke besteht zum großen Teil aus Eisenoxyden. War bei der Herstellung des Schweißeißens die äußere Luft von der Oberfläche abgeschlossen, so kann die Zusammensetzung der eingemengten Schlacke annähernd mit der Zusammensetzung der im Erzeugungsofen zurückbleibenden Schlacke übereinstimmen; waren aber die entstehenden Eisenkörner zeitweise der Einwirkung der Luft oder oxydierender Gase ausgesetzt (z. B. im Puddelofen), so kann die eingemengte Schlacke erheblich eisenreicher als die zurückbleibende sein. Auch der Phosphorgehalt der eingemengten Schlacke ist nicht selten wesentlich höher als derjenige der Ofenschlacke. Ein Bild des abweichenden Schlackengehalts verschiedener Schweißeisensorten und seiner Zusammensetzung kann die auf Seite 173 folgende Zusammenstellung (nach eigenen Untersuchungen) geben.

In jedem Falle ist der Schlackengehalt des Schweißeisens um so geringer, je kleiner die Menge des mit einem Male dargestellten Eisens und je höher die bei der Darstellung herrschende Temperatur war (weil in der höheren Temperatur die Schlacke leichter aus dem Eisen ausfließt), je dünnflüssiger die Schlacke an und für sich ist, und je weniger die gebildeten Eisenkörner noch oxydierenden Einflüssen unterworfen wurden.

Das erste Erzeugnis der Schweißeisendarstellung ist stets ein aus lose zusammenhängenden Eisenkörnern bestehender, mit flüssiger Schlacke reichlich durchsetzter Eisenklumpen, welchen man sofort der Bearbeitung unter einem Hammer, seltener einer Presse, unterzieht, um die Schlacke so weit als tunlich ausfließen zu lassen und die Eisenkörner zusammenzuschweißen. Man nennt diesen Eisenklumpen gewöhnlich die Luppe[1]; ältere, jetzt seltener

[1]) Von lupus, der Wolf. Auch die Bezeichnung Wolf war früher hier und da gebräuchlich.

	Schlackengehalt des Eisens v. H.	Zusammensetzung der Schlacke					
		Fe[1])	SiO_2	P_2O_5	Mn	CaO	Al_2O_3
Rohschienen aus dem Puddelofen, sehnig	4,60	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.
Rohschienen aus dem Puddelofen, feinkörnig	3,12	"	"	"	"	"	"
Rheinisches Puddeleisen . . .	2,84	58,40	0,40	16,10	"	—	—
Englisches feinsehniges, zur Darstellung von Wasserstoffflaschen benutztes Eisen mit 0,56 v. H. Mangan	0,75	57,00	18,66	n.best.	"	—	—
Böhmisches Bandeisen (Puddeleisen)	0,41	28,56	15,18	26,01	0,80	3,93	13,17
Steirisches Hufnageleisen (Frischfeuereisen)	0,35	32,00	15,40	2,70	n.best.	—	—
Schwedisches Hufnageleisen (Frischfeuereisen)	0,17	n.best.	23,5	n.best.	"	—	—

gebrauchte Benennungen sind der Deul oder das Stück. Die erwähnte erste Bearbeitung der Luppe, wobei diese mit einer Zange erfaßt wird, heißt das Zängen.

2. Die Schweißeisendarstellung aus Erzen.

a) Erläuterungen.

Im Altertum und in den ersten Zeiten des Mittelalters bis zur Erfindung der Roheisendarstellung mußte sämtliches Schweißeisen unmittelbar aus Erzen gewonnen werden. Als man dann den Hochofenbetrieb zur Roheisenerzeugung eingeführt hatte, trat neben jenes unmittelbare Verfahren die Verarbeitung des Roheisens zu schmiedbarem Eisen, das Frischen, anfangs nur vereinzelt und erst allmählich sich ausbildend, dann aber — besonders im achtzehnten Jahrhundert — zu einem wichtigen Zweige des Eisenhüttengewerbes sich entfaltend und das ältere Verfahren mehr und mehr verdrängend. In der Jetztzeit bildet die Benutzung des Roheisens die Regel, die Darstellung des Schweißeisens unmittelbar aus den Erzen die Ausnahme.

Diese Tatsache kann auffallend erscheinen, wenn man erwägt, daß naturgemäß die Darstellung aus dem Roheisen umständlicher ist als die Darstellung aus den Erzen. Die Erklärung dafür liefert der Umstand, daß eine annähernd vollständige Reduktion des Eisens aus seinen Erzen durch Kohle oder überhaupt in Berührung mit Kohle in einer Temperatur, welche die fremden nichtflüchtigen Bestandteile der Erze zum Verschlacken bringt, nicht ohne Aufnahme eines größern Kohlenstoffgehalts durch das gebildete Eisen möglich ist, welches sich dadurch in ein stahl- oder roheisen-

[1]) Teils als FeO, teils als Fe_2O_3 anwesend.

artiges Erzeugnis umwandelt. Ein kohlenstoffarmes Eisen kann nur entstehen, wenn die Reduktion unvollständig bleibt, d. h. wenn ein größerer Teil des Eisens verschlackt wird. Stets entsteht also bei diesen Verfahren eine eisenreiche Schlacke; ihr Eisengehalt steht im umgekehrten Verhältnisse zum Kohlenstoffgehalte des erfolgenden Eisens. Die Verschlackung des Eisens aber ist gleichbedeutend mit einem Eisenverluste, dessen Bedeutung um so schwerer wiegt, je höher die Erze im Preise stehen.

Man hat wohl die Klippe zu umschiffen gesucht, indem man die Erze nicht in Berührung mit den Brennstoffen zum Schmelzen erhitzte, sondern in Vermischung mit so viel Kohle als eben zur Reduktion erforderlich ist, und eingeschlossen in Behältern glühte. Schlackenbildung findet demnach nicht statt; alle festen Bestandteile der Erze bleiben im Eisen zurück. Nur reine Erze sind daher verwendbar. Damit aber die Kohle den glühenden Erzstücken ihren Sauerstoffgehalt vollständig entziehen kann, müssen diese in tunlichst kleinstückigem Zustande mit der Kohle gemischt werden. Auch das Eisen erfolgt demnach in kleinen Stücken, welche erst durch Schweißung vereinigt werden müssen und im frischen Zustande eine lockere, porige Beschaffenheit besitzen. Man hat das Erzeugnis dieser Eigenschaften halber Eisenschwamm benannt. Bei seiner Erhitzung zum Zwecke des Schweißens tritt bedeutender Verlust durch Oxydation ein, und der Erfolg des Verfahrens ist noch ungünstiger als beim Schmelzen mit Kohle. Ebenso unbefriedigend ist der Erfolg, wenn man, wie es ebenfalls versucht worden ist, Kohlenoxyd statt der Kohle als Reduktionsmittel verwendet,

Ein Phosphorsäuregehalt der Erze wird bei der unmittelbaren Darstellung schmiedbaren Eisens weniger vollständig reduziert als im Hochofen. Dieselbe eisenreiche Schlacke, welche die Aufnahme größerer Mengen von Kohlenstoff durch das entstehende Eisen verhindert, tritt auch der Phosphorreduktion hemmend in den Weg. Dieses Verhalten des Phosphors wurde bisweilen als Begründung dafür angeführt, daß man in einzelnen Gegenden, wo reiche, aber phosphorhaltige Erze und neben ihnen Holzkohlen zu billigen Preisen zur Verwendung stehen, noch bis vor kurzem uralte Verfahren zur unmittelbaren Darstellung von Schweißeisen beibehalten hatte.

Trotz der unverkennbaren Schwächen der auf unmittelbare Darstellung schmiedbaren Eisens gerichteten Verfahren haben die Versuche, in lohnenderer Weise als bisher Schweißeisen aus den Erzen darzustellen, erst aufgehört, als die Schweißeisendarstellung überhaupt ihre frühere Bedeutung verloren hatte. Wo aber ältere Verfahren in Benutzung waren, sind sie zum Teil auch heute noch nicht ganz erloschen.

Man bedient sich hierfür entweder eines Feuers oder eines Schachtofens. Ersteres heißt Rennfeuer[1]), letzterer Stückofen

[1]) „Rennen" heißt zum Rinnen oder Fließen bringen, also schmelzen. Rennfeuer ist daher ursprünglich gleichbedeutend mit Schmelzfeuer. Mitunter dehnt man den Begriff des Ausdruckes Rennen, Rennarbeiten noch weiter aus und versteht darunter die Erzeugung schmiedbaren Eisens aus Erzen überhaupt.

(nach der erwähnten Benennung des ersten Erzeugnisses: das Stück). Nur bisweilen sind andere Schmelzvorrichtungen, insbesondere Flammöfen, zur Anwendung gebracht, ohne daß jedoch die darin ausgeübten Verfahren größere Bedeutung erlangt hätten.

Der Rennfeuer- wie der Stückofenbetrieb sind bereits seit vorgeschichtlicher Zeit in Anwendung. Ob man das Rennfeuer oder den Stückofen wählte, hing teils von der Beschaffenheit der Erze, teils von der Einrichtung der Gebläse, teils auch wohl von der Gewohnheit ab. Eine zum Schmelzen strengflüssiger Erze erforderliche hohe Temperatur und eine kräftige Reduktionswirkung läßt sich leichter im Schachtofen als im Feuer erzeugen; daher wählte man den ersten vorzugsweise da, wo schwer reduzierbare Erze mit strengflüssiger Gangart verhüttet werden sollten, während das Feuer häufiger bei der Verarbeitung reiner und reicher Erze, insbesondere reicher Roteisenerze, Benutzung fand. Ein Feuer aber ist ohne Anwendung eines Gebläses kaum zur Eisenerzeugung tauglich; ein Schachtofen kann allenfalls auch ohne Gebläse betrieben werden, indem er selbst als Esse wirkt und den Luftwechsel veranlaßt. Daher findet man Stücköfen auch bei solchen Völkern, denen Gebläse noch unbekannt sind.

Im Rennfeuer wie im Stückofen sind nur Holzkohlen als Brennstoff benutzbar. Aus mineralischen Kohlen würde das erfolgende Eisen so reichliche Mengen Schwefel aufnehmen, daß es unverwendbar werden müßte; die Bildung einer kalkreichen Schlacke, welche beim Hochofenbetriebe als wirksames Gegenmittel dient, ist bei dieser Art des Betriebes unmöglich, da die Temperatur nicht hoch genug ist, eine solche Schlacke zu schmelzen. Für den Großbetrieb der Jetztzeit sind schon aus diesem Grunde jene Verfahren unanwendbar; nur für eine Eisendarstellung von beschränktem Umfange in holzreichen Gegenden können sie noch benutzt werden.

b) Der Rennfeuerbetrieb.

Wie die Feuer überhaupt entstand das Rennfeuer aus einem Haufen Holzkohlen, dessen Glut man durch ein Gebläse anfachte, und welchen man später, um die Kohlen besser zusammenzuhalten, mit einer gemauerten Einfassung umgab (Seite 142 I). Zwischen den Kohlen wird das Erz niedergeschmolzen und dabei teilweise reduziert; bisweilen findet noch ein zweites Niederschmelzen des beim ersten Male nicht genügend reduzierten Erzes statt. Die erfolgende Luppe wird herausgenommen und gezängt. Das sind die Grundzüge des Verfahrens, welches in einigen Gegenden sich bis heute erhalten hat. Auf Elba wurden schon im Altertume Rennfeuer betrieben, deren Spuren teilweise noch erhalten sind[1]); in manchen Gegenden Deutschlands bildete während des Mittelalters und noch in den ersten Jahrhunderten der Neuzeit das Rennfeuer die ausschließlich benutzte Vorrichtung zur Eisenerzeugung[2]).

---

[1]) Annales des mines, Reihe 5, Band 14 (1859), Seite 557; auch Beck, Geschichte des Eisens, Band 1, Seite 476.

[2]) Ein Rennfeuer aus dem Anfange des 16. Jahrhunderts ist in Becks Geschichte des Eisens, Band 2, Seite 147 abgebildet (aus Agricolas Werke De re metallica libri XII entnommen.)

Noch in der ersten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts war die Rennfeuerarbeit in verschiedenen Teilen Deutschlands ziemlich verbreitet; in Oberschlesien erloschen die Rennfeuer erst beim Beginne des 19. Jahrhunderts. Dagegen fanden sich vor kurzem noch Rennfeuer in einzelnen Teilen Spaniens sowie in den Vereinigten Staaten Nordamerikas (in der Umgebung des Lake Champlain in den Staaten New York und New Jersey), wo man Magneteisenerze in ihnen verschmolz, und möglicherweise sind sie auch heute dort noch nicht sämtlich verschwunden.

In den Abmessungen der Feuer und in den Einzelheiten des Schmelzverfahrens zeigte auch der frühere Rennfeuerbetrieb zahl-



Abb. 314.

reiche Abweichungen, die in älteren Werken über Eisenhüttenkunde gewöhnlich mit großer Ausführlichkeit beschrieben sind. Einen allgemeinen Begriff der Anordnung eines Rennfeuers kann die Abb. 314 geben, ein katalonisches Rennfeuer in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts darstellend[1]). Aus dem Feuer wird soeben die fertige Luppe mit Stangen herausgeholt; am Fuße des Feuers gewahrt man einen Schlackenstich, aus welchem während des Schmelzens von Zeit zu Zeit die entstandene Schlacke abgelassen wird. Der Wind wird durch eine an der Rückseite des Feuers angebrachte, in der Abbildung nicht sichtbare Form von oben her in schräger Richtung eingeführt.

Über den noch vor nicht langer Zeit in Nordamerika üblichen Rennfeuerbetrieb gibt Egleston einen ausführlichen, durch

[1]) Aus Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abteilung 1, Seite 523.

Abbildungen ergänzten Bericht [1]). Die Feuer waren etwa 0,6 m lang, 0,7 m breit, 0,8 m tief und mit einer darüber stehenden Esse versehen, in welcher ein eiserner Winderhitzer für den Gebläsewind eingebaut war. Die zu verhüttenden Erze wurden geröstet und zu Erbsengröße gepocht. Man schmolz mit einem Male 250 kg Erz, gebrauchte dazu 300 kg Holzkohlen und erzeugte daraus ein Luppe von ungefähr 150 kg Gewicht. Die Zeitdauer des Verfahrens war etwa drei Stunden. Bei früheren Betriebsweisen war der Holzkohlenverbrauch häufig erheblich höher als in diesem Falle und betrug mitunter das $3^1/_2$fache von dem Gewichte des erfolgenden Eisens [2]).

Einige Beispiele der Zusammensetzung der beim Rennfeuerbetriebe erfolgenden Schlacken sind hierunter gegeben. Sie sind, wie erwähnt, stets reich an Eisen. Ein Rennfeuerbetrieb mit eisenarmer Schlacke ist undenkbar. Entstand eine reiche Schlackenmenge, waren also die Erze reich an Mangan oder sonstigen in die Schlacke gehenden Körpern, oder wurde ein Teil des Ofenfutters aufgelöst, so beziffert sich der Eisengehalt der Schlacke etwas niedriger als im andern Falle, obgleich der Eisenverlust noch beträchtlicher sein kann als bei Entstehung einer geringeren Menge eisenreicherer Schlacke.

	I	II	III	IV	V
Eisenoxydul	41,77	39,87	48,57	49,74	49,67
Eisenoxyd	—	—	8,06	4,98	11,17
Manganoxydul	12,31	13,00	0,61	0,40	0,64
Tonerde	1,90	3,65	1,60	0,80	—
Kalk	8,54	7,20	5,54	5,37	6,16
Magnesia	1,32	2,35	2,29	2,22	2,29
Titansäure	—	—	1,36	6,26	4,46
Phosphorsäure	n. best.	n. best.	0,08	0,40	0,05
Kieselsäure	33,54	33,00	26,38	24,60	25,98
Schwefel	n. best.	n. best.	0,25	0,37	0,00
Metallisches Eisen [3])	—	1,20	3,19	3,68	1,24
Kohle [3])	—	—	1,18	0,38	0,22

I. Katalonische Rennfeuerschlacke nach Richard. Mittlere Zusammensetzung mehrerer bei der Herstellung einer Luppe nacheinander genommener Schlackenproben (T. Richard a. a. O. Seite 151, auch Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, Abteilung I, Seite 542).

II. Katalonische Rennfeuerschlacke nach François (a. a. O. Seite 234).

III. bis V. Nordamerikanische Rennfeuerschlacken nach Egleston.

In früherer Zeit fuhr man die Schlacken als wertlose Nebenerzeugnisse auf die Halde; in der zweiten Hälfte des neunzehnten Jahrhunderts hat man nicht selten die alten Schlackenhalden

[1]) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 8, Seite 515.

[2]) Eingehende Beschreibung der älteren Rennfeuerbetriebe enthalten die Werke: F. Richard, Études sur l'art d'extraire immédiatement le fer de ses minérais sans convertir le métal en fonte, Paris 1838; ferner J. François, Recherches sur le gisement et le traitement direct des minérais de fer dans les Pyrénées, particulièrement dans l'Ariège. Paris 1843. Auch Percy-Wedding, Eisenhüttenkunde, 1. Aufl., enthält in Abteilung I, Seite 519 ff. sehr ausführliche Auszüge aus den genannten Werken.

[3]) Metallisches Eisen und Kohle als mechanisch eingemengte Körper.

wieder aufgegraben, um die Schlacken ihres Eisengehalts halber im Hochofen zu verhütten.

c) Der Stückofenbetrieb.

Häufiger noch als das Rennfeuer war in früheren Jahrhunderten der Stückofen in Anwendung zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen, und ziemlich erheblich sind die Abweichungen in den Abmessungen und der inneren Form der in verschiedenen Ländern benutzten Stücköfen.

Der Betrieb geschieht in der Weise, daß der Ofen bis zu entsprechender Höhe mit Kohlen gefüllt wird, welche entzündet werden; alsdann gibt man eine Erzgicht, hierauf wieder Kohlen und Erze in abwechselnden Lagen. Man gichtet noch auf, während bereits unten Schmelzung stattfindet, hört aber damit auf, wenn eine der Größe des herzustellenden Stückes entsprechende Menge Erz eingeschüttet ist. Alsdann wird niedergeschmolzen, der unten befindliche Eisenklumpen herausgeholt, bei kleinen Öfen aus der Gicht, bei größeren aus einer unten angebrachten und während des Schmelzens mit einem Steine zugesetzten Öffnung, und das Schmelzen kann aufs neue beginnen[1]). Das Verhältnis des Brennstoffs zum Erze wird nach dem Kohlenstoffgehalte, den das Erzeugnis erhalten soll, geregelt; bei sehr reichlichem Brennstoffsatze kann Roheisen erfolgen.

Die Höhe der Stücköfen beträgt mitunter kaum 1 m und steigt bei den in der Fußanmerkung erwähnten finnländischen Öfen auf mehr als 6 m. Manche Stücköfen haben Zylinderform, andere erweitern sich nach unten, noch andere nach oben; häufig auch findet man die in Abb. 102, Seite 34, Band II dargestellte Form, d. h. der Ofen besteht aus zwei mit den breiten Flächen aufeinander stoßenden Kegeln. Die noch im Anfange des neunzehnten Jahrhunderts betriebenen Stücköfen der österreichischen Alpen, welche bis 5 m hoch waren und dann allmählich, ohne daß die innere Form wesentliche Änderungen erfuhr, in Hochöfen umgewandelt wurden, waren in dieser Weise eingerichtet.

Stark verbreitet war in früheren Jahrhunderten der Stückofenbetrieb auf der ganzen Erde. Altrömische Stücköfen werden noch jetzt bisweilen in eisenerzreichen Gegenden aufgegraben, wo die Römer festen Fuß gefaßt hatten, z. B. vor einigen Jahren in der Pfalz[2]); eine Abbildung eines Stückofens aus dem sechzehnten

---

[1]) Bei neueren finnländischen Stücköfen hat man versuchsweise das vollständige Niederschmelzen, welches stets eine erneute Füllung des Ofens mit Holzkohlen notwendig macht, dadurch zu beseitigen gesucht, daß der untere Teil des Ofens, der Herd, in welchem die Luppe aus den niedersickernden Massen allmählich sich bildet, zum Auswechseln eingerichtet wurde. Hat die Luppe die erforderliche Größe erreicht, so wird der von Rädern getragene Herd abgelöst, davongefahren und entleert, während ein in Bereitschaft gehaltener zweiter Herd an seine Stelle kommt. Näheres hierüber: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 470. Die Einrichtung hat sich jedoch nicht auf die Dauer bewährt, und inzwischen ist auch in Finnland der Stückofenbetrieb vollständig oder ziemlich vollständig erloschen.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 634.

Jahrhundert enthält Agricolas schon genanntes Werk De re metallica [1]). Noch heute bildet der Stückofenbetrieb bei den Naturvölkern das fast ausnahmslos angewendete Verfahren der Eisenerzeugung, obschon der Bau der Öfen und die Einzelheiten in der Ausführung des Verfahrens bei fast jedem Volke sich etwas anders gestaltet haben. Die Berichte und Abbildungen der Öfen, welche uns Reisende geliefert haben, sind nicht immer ganz zuverlässig,

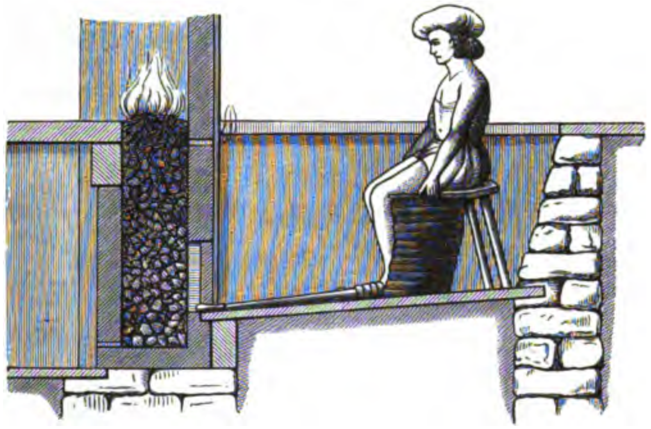


Abb. 315.

weil die meisten Reisenden die Vorrichtungen und den Betrieb mit dem Auge des Ethnographen, aber nicht mit dem eines Eisenhüttenmannes ansahen [2]). Als Beispiel eines noch jetzt bestehenden Stückofenbetriebes bei Naturvölkern, dessen aus eigener Anschauung gewonnene Beschreibung wir einem österreichischen Eisenhüttenmanne, C. Ritter von Schwarz, verdanken [3]), möge die in Zentralindien von den dortigen Eingeborenen betriebene Eisendarstellung hier Erwähnung finden. Der benutzte Ofen ist in Abb. 315 dargestellt. Er ist aus Lehm hergestellt und mit Mauerwerk eingefaßt, 0,8 m im Quadrate weit, 1 m hoch. Die Windform, welche aus Lehm gebrannt ist, liegt 0,25 m über dem Boden und hat 23 mm Durchmesser. Das Gebläse (Abb. 316) besteht aus zwei Ziegenbälgen; ihre Schwanzenden sind aufgeschnitten, und in die entstandenen

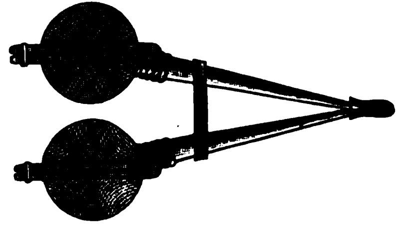


Abb. 316.

[1]) Daraus in Becks Geschichte des Eisens, Abteilung 2, Seite 157.

[2]) Richard Andree, Die Metalle bei den Naturvölkern, Leipzig 1884, enthält eine Zusammenstellung solcher Berichte mit guten Abbildungen.

[3]) Zeitschr. d. Berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, Seite 1; auch Zeitschr. d. Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1892, Seite 189.

Lappen sind je zwei Bambusstäbe eingenäht, welche an einem Ende fest, am andern lose miteinander verbunden sind, so daß sie federn und einen offenen Schlitz bilden. Wenn der Balg aufgezogen wird, tritt Luft ein, wenn er zusammengedrückt wird, schließt sich der Schlitz, und die Luft wird gezwungen, durch die aus Bambusrohr gebildete Düse anzutreten, welche im Kopfende des Balges durch Schnüre befestigt ist. Das Aufziehen des Balges geschieht durch Lederriemen mit der Hand oder auch — in anderen Gegenden — mit Hilfe einer aus einem Bambusstabe gebildeten Feder, an welche der Riemen angeschlossen ist, das Zusammendrücken durch Treten mit dem Fuße. Das Aufziehen und Zusammendrücken der beiden Bälge geschieht immer abwechselnd.



Abb. 317.

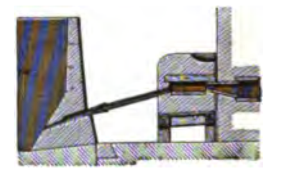


Abb. 319.

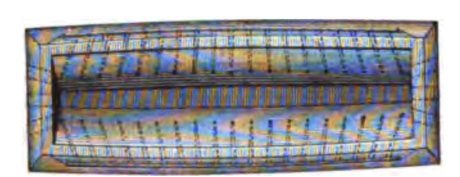


Abb. 318.

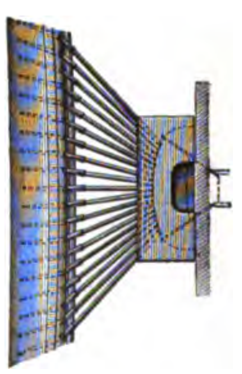


Abb. 320.

An der Seite, wo der Arbeiter sich befindet, ist zu seinem Schutze gegen die Wärmestrahlung der Gichtflamme die Ofenwand durch einen Aufsatz erhöht; etwas darunter ist in der Ofenwand eine kleine Öffnung angebracht, aus welcher ein Flämmchen herausschlägt. Nach dem Aussehen des Flämmchens, ob lebhaft oder weniger lebhaft, ob blau oder gelb, beurteilt der Arbeiter den Verlauf des Schmelzens. Man schmelzt jedesmal 20 kg Erz (meistens Roteisenstein) ohne Zuschlag mit etwa 20 kg Holzkohlen und gebraucht dazu einen Zeitraum von ungefähr zwei Stunden. Es erfolgt eine Luppe von $7^1/_2$ bis 9 kg Gewicht, welche durch eine Zange aus der Gicht herausgeholt und dann mit Handhämmern bearbeitet und ausgeschmiedet wird. Zur Bedienung eines Ofens sind in 24 Stunden vier Arbeiter und ein Meister erforderlich, welche erstere sich am Gebläse ablösen, während letzterer das

Ausbrechen der Luppe, die Herstellung der Formen, das Ausbessern des Ofens u. a. besorgt. In 24 Stunden werden zehn Deule dargestellt; der Holzkohlenverbrauch in 24 Stunden beträgt ungefähr 200 kg, also für 100 kg dargestelltes Eisen 250 kg Holzkohlen.

Auch in verschiedenen Gegenden Japans findet sich noch Stückofenbetrieb in alter Weise, vornehmlich zur Erzeugung des berühmten japanischen Stahles aus Magneteisensand dienend. Ein solcher Ofen, Tatara genannt, ist in Abb. 317 und 318, die Windzuführung in Abb. 319 und 320 (Seite 180) dargestellt. Die Länge

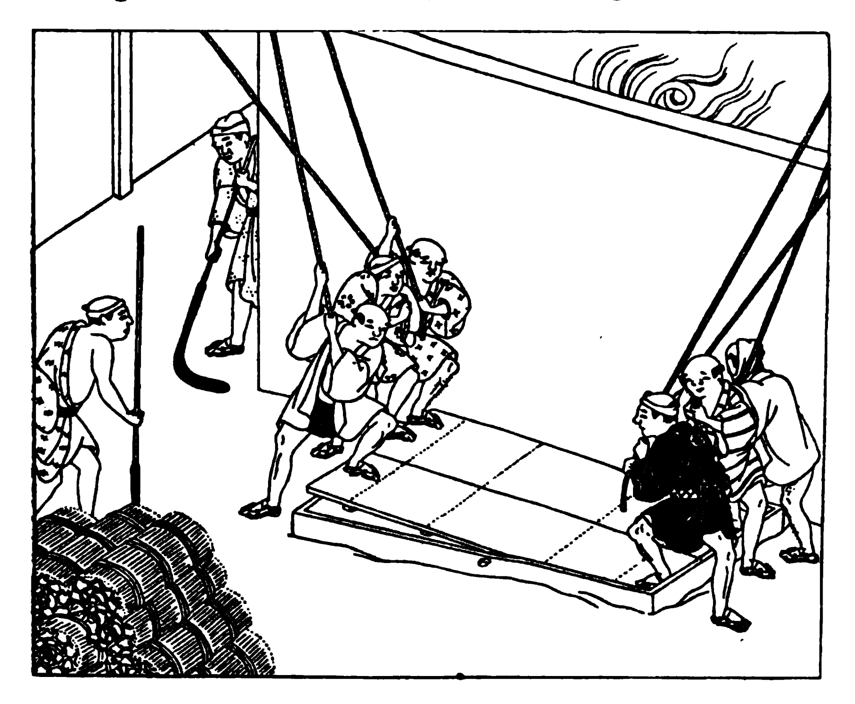


Abb. 321.

des Ofens beträgt etwa 3 m, die Breite oben 1 m, unten 0,5 m, die Höhe 1,5 m. Für jedes Schmelzen, welches etwa 68 Stunden währt, wird der Ofen auf dem in dem Erdboden befindlichen Unterbau aus Masse neu hergestellt, worauf man ihn durch ein Holzkohlenfeuer gut austrocknet, um dann mit dem Füllen zu beginnen. Das Erz wird an den beiden langen Seiten verteilt; in 24 Stunden setzt man 60 bis 80 Gichten, jede aus ungefähr gleichen Gewichtsmengen Holzkohlen und Erz bestehend. Der Wind wird von einem eigentümlichen, ebenfalls Tatara genannten Gebläse erzeugt. Es besteht aus zwei um wagerechte Achsen schwingenden Flügeln über je einem mit Ton ausgestampften Behälter. Die Flügel werden mit Füßen getreten. Bei der Abwärtsbewegung wird die in dem Behälter befindliche Luft nach dem Ofen gedrückt, bei der Auf-

wärtsbewegung frische Luft angesaugt. Das Äußere eines solchen alten Tataragebläses ist durch die Abb. 321 veranschaulicht, welche einem im achtzehnten Jahrhundert erschienenen japanischen Werke entnommen ist; im wesentlichen ist noch heute die Einrichtung die nämliche[1]). Von dem Gebläse gelangt der Wind durch ein Bambusrohr nach dem an jeder Seite des Ofens befindlichen Windkasten und von hier durch fächerartig angeordnete Düsenrohre aus Bambus in den Ofen. Das Erzeugnis des fortgesetzten Schmelzens ist teils flüssiges Roheisen, welches von Zeit zu Zeit abgelassen wird, teils ein nahezu 2 t schweres Stück schmiedbaren Eisens, aus Stahl neben weichem Eisen bestehend und reichlich mit Schlacke durchsetzt[2]). Der Ofen, welcher stets stark ausgeschmolzen ist, wird nach dem Erkalten zerbrochen, das Eisenstück zerschlagen, die Bestandteile ihrem Bruchaussehen nach gesondert und ausgeschmiedet. Durchschnittlich erhält man in 68stündiger Arbeit aus 12370 kg Erz mit 13490 kg Holzkohlen 1575 kg Roheisen, 1126 kg Stahl und 1012 kg Schmiedeeisen; doch zeigen die Betriebsergebnisse verschiedener Werke ziemlich große Abweichungen. Im Jahre 1899 standen in Japan noch 188 Tatara-Schmelzöfen im Betriebe[3]). In Europa besaß bis vor nicht langer Zeit der Stückofenbetrieb noch eine gewisse Bedeutung in Finnland[4]); hier oder da ist vielleicht in entlegener holzreicher Gegend auch anderwärts noch ein Stückofen anzutreffen.

Da die Schlacke der Stücköfen unter den nämlichen Einflüssen entsteht wie die der Rennfeuer, muß auch die Zusammensetzung beider Schlacken im wesentlichen übereinstimmen. Stets ist ihr Eisengehalt groß; in Hundertteilen des Schlackengewichts ausgedrückt erscheint er aber um so niedriger, je reichlicher die Schlackenmenge war, d. h. je mehr fremde, in die Schlacke übergehende Körper das Erz neben dem Eisen enthielt, und je stärker der Ofen beim Schmelzen angegriffen wurde.

Beispiele:	I	II	III	IV	V
Eisenoxydul	48,86	39,88	51,7	55,54	44,08
Eisenoxyd	10,18	0,44	—	—	1,70
Manganoxydul	9,81	7,08	2,9	5,25	6,97
Tonerde	2,96	9,40	4,8	19,68	10,56
Kalk	1,88	2,26	2,6	1,51	3,69
Magnesia	0,60	1,89	9,2	0,68	0,56
Phosphorsäure	2,18	0,25	n. best.	0,07	3,42
Kieselsäure	23,40	34,98	29,1	19,40	27,10

[1]) Genaueres über die Einrichtung dieser Gebläse: „Stahl und Eisen" 1901, Seite 844.

[2]) Auch in alpinen Stücköfen des achtzehnten Jahrhunderts erhielt man zunächst flüssiges Roheisen, dann schmiedbares Eisen. Näheres hierüber: Gabriel Jars, Metallurgische Reisen, übersetzt von Gerhard, Berlin 1777, Band 1, Seite 65.

[3]) Einiges Nähere hierüber enthält die bei Gelegenheit der Pariser Weltausstellung im Jahre 1900 herausgegebene Schrift: Les mines du Japon, publié par la commission impériale du Japon, Paris 1900.

[4]) Im Jahre 1890 erzeugte das Eisenwerk Pankakoski aus 2554 t Seeerzen unter Verbrauch von 5000 cbm Holzkohle 368_5 t Rohschienen (geschmiedete und gewalzte Stücke), das Eisenwerk Kiminki verarbeitete 420 t Seeerze mit 989 cbm Holzkohlen („Stahl und Eisen" 1893, Seite 216). Im Jahre 1896 dagegen stand nur noch ein einziger Stückofen in Kiminki im Betriebe, welcher 90 t Eisen lieferte („Stahl und Eisen" 1889, Seite 525).

I. Vorgeschichtliche Schlacke aus der Provinz Hannover, von Haberland untersucht (Beck, Geschichte des Eisens. I, Seite 639).
II. Schlacke aus altrömischen, in der Pfalz aufgegrabenen Stücköfen, von mir untersucht („Stahl und Eisen“ 1884, Seite 633).
III. Schlacke aus einem Stückofen der österreichischen Alpen im Anfange des 19. Jahrhunderts, nach Karsten (Handbuch der Eisenhüttenkunde, 3. Auflage, Berlin 1841, Band 4).
IV. Schlacke, welche nebst Resten alter Stücköfen in der Gegend von Osnabrück gefunden wurde. In meinem Laboratorium untersucht.
V. Schlacke eines finnländischen Stückofens, von mir untersucht.

d) Einige neuere Verfahren.

Unter den zahlreichen Verfahren, welche vorgeschlagen und versuchsweise eingeführt worden sind, sollen hier nur zwei Erwähnung finden, die wenigstens für einige Zeit eine gewisse Bedeutung besessen haben.

Im Anfange der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurde durch W. Siemens auf der Eisenhütte zu Towcester in Northampton ein Verfahren zur Schweißeisenerzeugung aus Erzen im Flammofen eingeführt.

Die Eisenerze wurden mit Zuschlägen in solchen Gewichtsverhältnissen beschickt, daß eine flüssige Schlacke sich bilden konnte, dann mit gepulverter gasreicher Steinkohle gemischt und in dem auf Seite 176 I (Abb. 52 und 53) abgebildeten Drehofen mit Siemensfeuerung bis zur Schweißtemperatur des Eisens erhitzt. Der einmalige Einsatz wog 2 bis $2^1/_2$ t. Durch die beigemengte Kohle wurde das Eisen reduziert, und bei der langsamen Drehung des Herdes wurden die entstehenden Eisenkörner zu einer Luppe vereinigt.

Die Zeitdauer des Verfahrens betrug $4^1/_2$ bis 6 Stunden.

Das Eisenausbringen war 73 bis 77 v. H. des Eisengehaltes der Erze, so daß also 27 bis 23 v. H. Eisen verschlackt wurden.

Der Steinkohlenverbrauch für die Tonne erzeugten Eisens betrug durchschnittlich etwa das Doppelte von dem Gewicht des erzeugten Eisens.

Die erfolgenden Schlacken enthielten nach einer von Tunner gegebenen Mitteilung[1]):

	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	MnO	CaO	CaS	P_2O_5
beim ersten Abstich	46,95	—	16,50	28,10	0,49	0,29	2,32	5,22
beim zweiten Abstich	49,24	7,05	20,40	18,80	Sp.	—	0,91	3,46,

waren also ähnlich wie die Schlacken der Rennfeuer und Stücköfen zusammengesetzt. Die Umstände, welche für ihre Zusammensetzung, insbesondere ihren Eisengehalt, den Ausschlag geben, fanden oben bereits Erörterung.

Das Eisen dagegen enthielt nur 0,07 v. H. Phosphor, 0,08 v. H. Schwefel, 0,12 v. H. Kohlenstoff.

Das von Siemens ins Auge gefaßte und mit Ausdauer ein Jahrzehnt hindurch verfolgte Ziel, mit Hilfe des Verfahrens aus phosphorhaltigen Erzen ein Schweißeisen darzustellen, welches

[1]) Das Eisenhüttenwesen der Vereinigten Staaten, Seite 71.

seinen Eigenschaften zufolge dem aus phosporarmem Roheisen erzeugten Schweißeisen gleichwertig zur Seite treten könnte, ist nicht erreicht worden. Die entstehenden Luppen waren reichlich von einer teilweise strengflüssigen (trockenen) Schlacke durchsetzt, welche das Eisen verschlechterte. Eine umfängliche Bearbeitung erwies sich als notwendig, und die Erzeugungskosten des fertigen Eisens waren hoch. An mehreren Orten, wo das Verfahren versuchsweise eingeführt wurde (1873 zu Prävali in Kärnten, 1878 zu Pittsburg), und selbst in Towcester ist der Betrieb schließlich eingestellt worden.

Die Erzeugung von Eisenschwamm (Seite 174 III) durch Glühen der Erze mit reduzierenden Körpern wurde 1855 durch den Franzosen Chenot eingeführt. Er benutzte senkrechte gemauerte Retorten, 8,5 m hoch, 2 m lang, 0,5 m breit, welche in einem Rauhgemäuer eingebaut waren, durch herumlaufende Feuerzüge von außen erhitzt und nach unten entleert wurden. Das herausstürzende reduzierte Eisen fiel zunächst in einen Abkühlungsraum, in welchen es vor der Berührung mit der Luft und somit vor Oxydation geschützt war.

Das Erz wurde zu Stücken von etwa 30 ccm zerkleinert und mit so viel Holzkohle gemischt, als eben zur Reduktion erforderlich war (bei 55 v. H. Eisengehalt des Erzes mischte man mit 1000 Gewichtsteilen Erz ungefähr 200 Gewichtsteile Holzkohle). Die Reduktionszeit betrug zwei bis drei Tage, der Fassungsraum einer Retorte 4500 kg, also die durchschnittliche tägliche Durchsatzmenge einer Retorte 1500 bis 2000 kg Erz. Der Brennstoffverbrauch zum Heizen der Retorten betrug durchschnittlich 630 kg Steinkohlen für 1000 kg erzeugten Eisens, der Verbrauch an Reduktionskohle (Kohlenlösche) 320 kg.

Auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1855 erhielt Chenot von der französischen Jury die goldene Preismünze; mehrere Werke in Spanien, Frankreich und Belgien richteten Anlagen für die Durchführung des Chenotverfahrens ein. Die Schwächen des Verfahrens sind bereits oben geschildert worden. Der erfolgende Eisenschwamm besaß kein größeres spezifisches Gewicht als etwa 1,25, und um nicht beim Erhitzen den größten Teil des Eisens durch Oxydation zu verlieren, presste man das Erzeugnis in einer Wasserdruckpresse mit hohem Drucke zunächst stark zusammen. Dennoch blieb der Abgang beträchtlich, der Erfolg wenig befriedigend, und die meisten Anlagen stellten nach kurzer Zeit ihren Betrieb wieder ein. Auf der Pariser Weltausstellung von 1878 hatten indes noch zwei spanische Eisenwerke Proben des Chenotverfahrens ausgestellt[1]).

Auch ein von dem Amerikaner Blair ersonnenes Verfahren, bei welchem statt der Holzkohle Kohlenoxyd als Reduktionsmittel dienen sollte, während die Einrichtungen denen des Chenotverfahrens ähnlich waren, hatte keinen besseren Erfolg. Es wurde

---

[1]) Ausführliche Mitteilungen über das Chenotverfahren enthalten die unter Literatur genannten Abhandlungen von Ed. Grateau und Baills.

mehrere Jahre auf einem Eisenwerke bei Pittsburg ausgeführt und kam dann wegen seiner ungünstigen Ergebnisse zum Erliegen [1]).

3. Der Frischfeuerbetrieb.

a) Einleitung.

Der Frischfeuerbetrieb, auch mitunter das Herdfrischen genannt, bildet das älteste Verfahren zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Roheisen.

Das Frischfeuer ist ein niedriger, vierseitiger Behälter, über dessen Rand hinweg eine schräg abwärts gerichtete Düse Wind zuführt. Die Einrichtung ist also im wesentlichen die nämliche wie die der besprochenen Rennfeuer zur Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen. Die auf Seite 176 III gegebene Abbildung eines Rennfeuers kann auch zunächst einen Begriff von der allgemeinen Anordnung eines älteren Frischfeuers geben.

Aus dem Rennfeuerbetriebe entwickelte sich der Frischfeuerbetrieb, als man die Roheisendarstellung erfunden hatte und nun vor der Notwendigkeit stand, das für die Gießerei nicht verbrauchte Roheisen sowie die beim Gießen entstehenden Abfälle und Ausschußstücke nützlich zu verwerten. Man hielt das Roheisen für ein von Fremdkörpern ungenügend gereinigtes Erz und unterzog es demnach einem zweiten Schmelzen in den nämlichen Vorrichtungen, welche man bis dahin zur Darstellung schmiedbaren Eisens benutzt hatte. Besser als der Stückofen bewährte sich das Feuer in diesem Falle; so wurde die Anwendung des letzteren zum Frischen des Roheisens allgemein.

Daß die nämliche Vorrichtung und im wesentlichen auch das nämliche Arbeitsverfahren in dem einen Falle zum reduzierenden Schmelzen von Erzen, in dem anderen Falle zum oxydierenden Schmelzen von Roheisen benutzt werden konnte, erscheint nicht auffällig, wenn man die Tatsache im Auge behält, daß die reduzierende Wirkung des Schmelzens im Feuer nur beschränkt ist, wie die stattfindende reichliche Verschlackung von Eisen erweist. Während aus Erzen ein Teil ihres Eisengehaltes bei der unmittelbaren Berührung mit glühenden Holzkohlen reduziert wird, bewirkt die Berührung des schmelzenden Roheisens mit dem Windstrome eine Ausscheidung seiner leicht verbrennlichen Bestandteile: des Siliciums, Mangans, Kohlenstoffes. Daß durch Zusatz von Erzen oder eisenoxydhaltigen Schlacken, deren Eisenoxydgehalt als Oxydationsmittel dient, das Frischen des Roheisens wesentlich erleichtert werde, hat man jedenfalls sehr bald herausgefunden, ohne die Ursache dieser Einwirkung zu kennen.

Als Brennstoff beim Frischfeuerbetriebe dienen Holzkohlen. Koks würden ihres Schwefelgehaltes halber ebensowenig wie beim Rennfeuer- und Stückofenbetriebe anwendbar sein. Die Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen erfolgt, indem man ersteres tropfenweise vor dem Windstrahle niederschmilzt und dieses Ver-

[1]) Näheres über Einrichtung und Betrieb des Blair-Ofens: The Journal of the Iron and Steel Institute 1878 I, Seite 47.

fahren so oft wiederholt, bis die fremden Bestandteile des Roheisens, insbesondere Silicium, Mangan und Kohlenstoff, bis zu dem erforderlichen Maße ausgeschieden sind. Von der Zusammensetzung des verwendeten Roheisens und von der gewünschten Beschaffenheit des darzustellenden schmiedbaren Eisens hängt es ab, wie oft dieses Niederschmelzen stattfinden muß. In einzelnen Fällen genügt schon ein einmaliges Schmelzen; häufiger ist ein zweimaliges, mitunter ein dreimaliges oder noch öfteres Schmelzen des ganzen Einsatzes oder der am wenigsten von der Oxydationswirkung betroffenen Teile erforderlich. Daß man durch Zusatz von Körpern, welche auf die fremden Bestandteile des Roheisens oxydierend wirken, insbesondere von eisenoxydreichen Schlacken oder von Hammerschlag (Seite 296, Band I), die Ausscheidung jener Bestandteile des Roheisens zu befördern pflege, wurde schon erwähnt.

Die geschilderten Eigentümlichkeiten des Frischfeuerbetriebes und der Umstand, daß die Abmessungen eines Feuers überhaupt nicht sehr beträchtlich sein können, erklären es, daß die Leistung eines Frischfeuers beschränkt bleibt. Die Notwendigkeit, Holzkohlen zu benutzen, knüpft das Verfahren an das ausreichende Vorkommen dieses Brennstoffes und verteuert das Erzeugnis in allen den Gegenden, wo Holzkohlen schwierig zu erlangen sind; sie macht sogar eine Ausbreitung des Verfahrens über jene Grenzen hinaus unmöglich, welche durch den jährlichen Zuwachs an Holz und die damit zusammenhängende jährliche Erzeugung von Holzkohlen gesteckt sind. Alle Holzkohlen der Erde zusammen würden nicht ausreichen, wenn der Bedarf der Jetztzeit an schmiedbarem Eisen durch den Frischfeuerbetrieb gedeckt werden sollte.

Aus diesen Gründen verlor der Frischfeuerbetrieb, welcher noch in den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts das wichtigste Verfahren zur Darstellung schmiedbaren Eisens bildete, mehr und mehr an Bedeutung, als der Bedarf an schmiedbarem Eisen nach Einführung der Eisenbahnen so außerordentlich stieg, während die Holzkohlen sich mehr und mehr verteuerten. In großen Bezirken, wo noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts die Frischerei im Feuer in ausgedehnter Weise betrieben wurde, sind die Frischfeuer jetzt vollständig verschwunden.

Anderseits besitzt das Verfahren eine Eigentümlichkeit, die es in gewisser Hinsicht vorteilhaft auszeichnet. Wie früher erwähnt, fällt bei allen Verfahren der Schweißeisendarstellung der Schlackengehalt des erfolgenden Eisens um so geringer aus, und das Eisen selbst ist in seiner Beschaffenheit um so gleichartiger, je weniger Eisen mit einem Male dargestellt wird, und je dünnflüssiger die Schlacke ist. Im Frischfeuer lassen sich seiner ganzen Einrichtung nach überhaupt nur kleine Mengen Eisen mit einem Male verarbeiten[1]); die Temperatur des Feuers ist hoch; dieser Umstand sowie das tropfenweise Schmelzen befördern die Abscheidung der Schlacke und die Entstehung eines Eisens von gleichmäßiger Beschaffenheit.

---

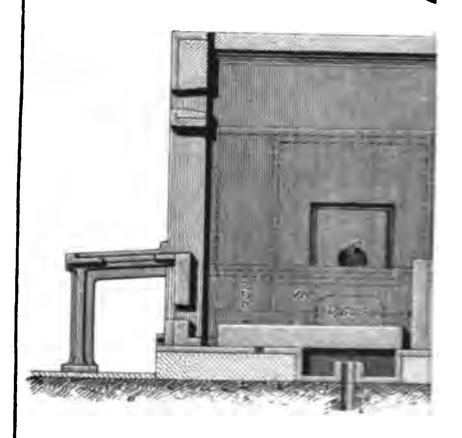
[1]) Man verarbeitet selten mehr als 150 kg, häufig weniger.

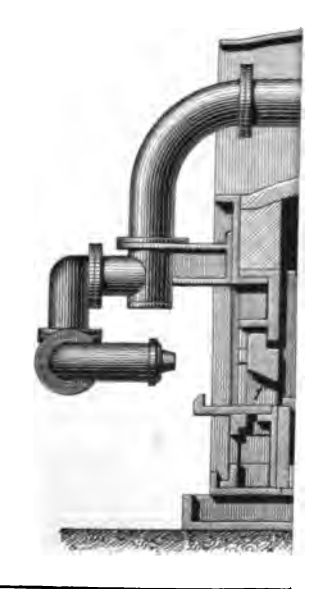
Lanc

1/25



Abb. 322.





Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

1{

fa
ei
er
se
sc
w
F
zv
d
w
v
o
o
je
er

u
ni
ei
k
V
d
m
hi
u
k
n
E

n
V
n
E
H
w
F
je

e
w
S
d
je
fl
E
M
U
s
g

Das Frischfeuereisen zeichnet sich daher vor anderen Sorten Schweißeisens durch Gleichmäßigkeit und geringen Schlackengehalt aus und wird besonders geschätzt für Darstellung feiner Bleche, Hufnageleisen und sonstiger feiner Eisenwaren. Aus diesem Grunde werden auch jetzt noch mitunter Frischfeuer in Gegenden betrieben, wo übrigens keine Veranlassung dafür vorliegt; aber das billiger darzustellende weiche Flußeisen verdrängt selbst in holzreichen Gegenden das Frischfeuereisen (gewöhnlich Holzkohleneisen genannt) mehr und mehr.

In Deutschland, Großbritannien, Frankreich werden nur noch sehr vereinzelt Frischfeuer angetroffen; größere Wichtigkeit besitzt der Frischfeuerbetrieb noch in Schweden, dessen Frischfeuereisen sich Weltruf erwarb, und in waldreichen Gegenden Rußlands. Auch die österreichischen Alpenländer halten den Frischfeuerbetrieb noch aufrecht, obgleich gegen früher in stark beschränktem Maße; berühmt ist der steirische und kärntnische Frischfeuerstahl.

b) Das Frischfeuer.

In verschiedenen Ländern ist die Einrichtung der Frischfeuer etwas abweichend. Am häufigsten sind jetzt noch solche Feuer in Anwendung, welche man nach ihrer ursprünglichen Heimat als Lancashirefeuer bezeichnet. Ein Feuer dieser Art, welches auf einem schwedischen Eisenwerke im Jahre 1885 in Benutzung war, ist in Abb. 322 und 323 dargestellt[1]) und möge als Beispiel der Einrichtung überhaupt dienen. *a* ist das eigentliche Feuer, von gußeisernen Platten eingefaßt, welche die Aufgabe haben, das Mauerwerk zu schützen und die Entstehung einer eisenoxydreichen Schlacke zu befördern, indem sie die Aufnahme von Kieselsäure aus dem Mauerwerk unmöglich machen. Die aufrecht stehenden Platten heißen Zacken, die untere, liegende Platte der Boden. Bei dem abgebildeten Feuer stehen die Zacken senkrecht; mitunter gibt man dem einen oder anderen Zacken etwas geneigte Stellung. Um den Boden, wenn er zu stark erhitzt werden sollte, kühlen zu können, ist darunter ein Wasserbehälter angebracht, welcher von außen mit Wasser gefüllt werden kann, wie Abb. 323 erkennen läßt. In dem vorderen Zacken ist eine Öffnung zum Ablassen der Schlacke angebracht.

Der Wind tritt über den Rand des Feuers bei *ff* durch zwei unter einem Winkel von etwa 10 Grad abwärts gerichtete Düsen ins Feuer. Die Düsen selbst sind nicht gezeichnet, man sieht aber die Windleitung, an welche sie anschließen. Sie liegen in wassergekühlten Formen. Bei älteren Feuern ist gewöhnlich nur eine einzige Düse vorhanden; durch Anordnung zweier Düsen wird die Gleichmäßigkeit der Verbrennung befördert, bei einzelnen schwedischen Feuern hat man sogar eine dritte Form, welche an der Rückseite des Feuers sich befindet, angebracht[2]).

---

[1]) Nach J. v. Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens. Leipzig 1885.

[2]) Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1885, Nr. 33.

In manchen Gegenden liegt das Feuer frei, wie das auf Seite 176 III abgebildete Rennfeuer, und ein darüber angebrachter Rauchfang dient zum Ableiten der Gase; das hier abgebildete Frischfeuer dagegen ist eingeschlossen, damit man die abziehende Wärme benutzen könne, und die entweichenden Gase werden zunächst über den Vorwärmherd *b* geleitet, auf welchem das für den nächsten Einsatz bestimmte Roheisen aufgeschichtet und bis zum Glühen erhitzt wird. Durch die mit einer Tür verschlossene Öffnung *c* wird das Roheisen eingesetzt. *d* ist ein eiserner Winderhitzer, welcher die Möglichkeit gewährt, mit mäßig erwärmtem Winde (100 bis 150° C.) zu blasen; will man dagegen mit kaltem Winde arbeiten, so schließt man die nach dem Winderhitzer führende Öffnung durch einen Schieber oder aufgelegten Ziegel und öffnet den Durchgang bei *e*, so daß die Gase unmittelbar nach der Esse abziehen. Bei zahlreichen Feuern fehlt übrigens die Windheizvorrichtung gänzlich, da die Erwartungen, welche man früher auf die Anwendung heißen Windes setzte, nur in beschränktem Maße sich erfüllt haben.

Die Länge und Breite der Feuer schwankt zwischen 500 bis 700 mm, die Tiefe zwischen 160 bis 260 mm.

c) Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse.

Es ist leicht erklärlich, daß ein Verfahren, welches allmählich in Zeiten ausgebildet wurde, wo der Verkehr der Menschen untereinander weit beschränkter als jetzt war, eine Fachliteratur aber fehlte, in verschiedenen Gegenden ziemlich abweichende äußere Form annehmen konnte. Schon die verschiedene Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Roheisens macht gewisse Abweichungen in der Ausführung des Verfahrens notwendig; nicht minder der Umstand, ob man beabsichtigt, kohlenstoffarmes Eisen (Schmiedeeisen) oder Stahl darzustellen. Hierzu kommen die noch zahlreicheren Verschiedenheiten, welche durch den Bau des Feuers, die Größe des Einsatzes und die Handhabungen bedingt sind und zum großen Teile auf jahrelangen Gewohnheiten beruhen. Solcherart konnte Tunner in seinem, 1858 in zweiter Auflage erschienenen Werke: „Die Stabeisen- und Stahlbereitung in Frischherden“ nicht weniger als 14 verschiedene Arten des Frischfeuerbetriebes für Schmiedeeisenerzeugung und außerdem fünf verschiedene Arten des Frischfeuerbetriebes für Stahlerzeugung unterscheiden; auch hier waren nur die hauptsächlichsten Arten berücksichtigt worden.

Wesentliche Unterschiede zeigen sich, je nachdem man ein garschmelziges, d. h. mangan- und siliciumarmes, entweder aus geeigneten Erzen unmittelbar erblasenes oder durch Feinen aus grauem Roheisen erhaltenes Roheisen verwendet, oder ein rohschmelziges, d. h. an oxydierbaren Körpern reiches Roheisen (graues Roheisen, manganreiches Weißeisen).

Im ersteren Falle ist es möglich, unter Anwendung eines reichlichen Schlackenzusatzes und Bildung eines förmlichen Schlackenbodens im Frischfeuer die Arbeit schon durch einmaliges Niederschmelzen zu vollenden. Das Verfahren heißt Einmalschmelzerei

oder Schwalarbeit[1]), ist aber nur für Stahlerzeugung in Anwendung.

Am häufigsten ist in der Jetztzeit die Zweimalschmelzerei oder das Wallonfrischen in Benutzung, wobei ein weißes oder mäßig halbiertes, jedenfalls nicht siliciumreiches Roheisen durch mindestens zweimaliges Niederschmelzen in schmiedbares Eisen umgewandelt wird.

Benutzt man dagegen graues, stark siliciumhaltiges Roheisen, so ist mindestens ein dreimaliges Niederschmelzen notwendig. Die Arbeit heißt Dreimalschmelzerei oder deutsches Frischverfahren. Solange man das Roheisen der Gießereihochöfen und die Abfälle von der Gießerei für die Verarbeitung in Frischfeuern benutzte, war dieses Verfahren am üblichsten: es wurde seltener, als man anfing, die Hochöfen auf Frischereiroheisen zu betreiben.

Bei der Dreimalschmelzerei werden die beim vorausgegangenen Schmelzen gewonnenen Schirbel (gezängte und in einzelne Stücke zerteilte Luppen), während das erste Niederschmelzen des Roheisens stattfindet, im Frischfeuer selbst wieder erwärmt, um dann ausgestreckt zu werden; bei dem Wallonfrischen sind wegen der kürzeren Zeitdauer des Verfahrens besondere Feuer oder Öfen dafür notwendig. Trotzdem hat das letztere Verfahren sich meistens als wirtschaftlich vorteilhafter erwiesen.

Schwieriger als die Herstellung kohlenstoffarmen Schmiedeeisens ist die Herstellung von Stahl durch Herdfrischen. Während es bei der Schmiedeeisenerzeugung nur darauf ankommt, durch wiederholtes Aufbrechen nach und nach alle noch roheren Teile des Einsatzes der Oxydationswirkung auszusetzen, bis der Kohlenstoff bis auf kleine Mengen (etwa 0,1 v. H.) verbrannt ist, muß bei der Stahlerzeugung das Verfahren unterbrochen werden, sobald der Kohlenstoffgehalt sich auf das gewünschte Maß verringert hat, und man muß dabei verhüten, daß einzelne Teile des Einsatzes etwa zufällig stärker von der Oxydationswirkung als andere betroffen und dadurch kohlenstoffärmer als diese werden.

Aus diesem Grunde ist ein allzu garfrisches Eisen zu vermeiden; der jedesmalige Einsatz darf nicht allzu beträchtlich sein (75 bis 90 kg); das Verhältnis der zugesetzten Schlacke dagegen, welche eine gegen die Berührung des Windstromes schützende Decke über dem am Boden sich sammelnden Eisen bilden soll, muß reichlich bemessen sein. Das Feuer hat, entsprechend dem geringeren Einsatze, geringe Länge und Breite (etwa 0,6 m Länge, 0,55 m Breite), dagegen ziemlich bedeutende Tiefe (etwa 0,3 m unterhalb der Form) ebenfalls zu dem Zwecke, allzu beschleunigten Gargang zu vermeiden.

Am geeignetsten zum Verfrischen auf Stahl ist ein Weißeisen mit mäßigem Mangangehalte und niedrigem Phosphorgehalte, wie es aus Spateisensteinen sich erblasen läßt, und schon früher wurde erwähnt, daß gerade in spateisenerzreichen Bezirken von alters her die Stahldarstellung geblüht habe, lange bevor man die eigent-

[1]) Schwal = Schlacke.

lichen Ursachen kannte, weshalb gerade das aus diesen Erzen erblasene Roheisen sich besonders gut für Stahlerzeugung eigne.

Der Mangangehalt dieses Eisens hat einen doppelten Zweck zu erfüllen. Er verzögert die Entkohlung, macht das Eisen rohschmelziger, und er erteilt, sobald er in die Schlacke geht, dieser eine dünnflüssigere Beschaffenheit; die Schlacke trennt sich leichter vom Eisen; man bekommt, was für den Stahl doppelt wichtig ist, ein schlackenärmeres Erzeugnis, und sie hält im Feuer das Eisen gleichmäßiger bedeckt. Da aber die Schlacke zugleich basisch sein muß, um oxydierend wirken zu können, ist ein etwaiger Ersatz des Mangans durch Silicium, des Weißeisens durch Graueisen nicht tunlich. In Steiermark, wo die Stahlerzeugung im Frischfeuer noch auf verschiedenen Werken betrieben wird, bedient man sich der Einmalschmelzerei, d. h. man schmilzt das Roheisen vor der Form nieder, und läßt es dann am Boden unter der Einwirkung der Schlacke vollends garen.

Hinsichtlich der Einzelheiten bei der Ausführung der Verfahren sowohl bei der Schmiedeeisen- als Stahlerzeugung möge auf die betreffende Literatur, insbesondere Tunners schon genanntes Werk, verwiesen werden.

Als man die Vorteile der Anwendung erhitzten Windes beim Hochofenbetriebe erkannt hatte, führte man auch bei zahlreichen Frischfeuern Winderhitzer ein in der Hoffnung, Brennstoff dadurch sparen zu können. Daß diese Erwartung sich nicht erfüllt hat und die meisten Winderhitzer später wieder beseitigt wurden, ist bereits oben erwähnt worden. Heißer Wind befördert Kohlenoxydbildung (Seite 47, Band I); zur Entwickelung der gleichen Wärmemenge muß demnach mehr Brennstoff verbrannt werden, und das entstehende Gasgemisch wirkt minder kräftig oxydierend, als wenn man mit kaltem Winde bläst. Besonders der letztere Einfluß zeigte sich deutlich; die Entkohlung wurde verlangsamt, als man den Wind erhitzte. Bei Verarbeitung stark garfrischenden Eisens oder bei der Stahlerzeugung kann diese Verlangsamung von Nutzen sein für die Beschaffenheit des Erzeugnisses, und in diesen Fällen findet deshalb auch jetzt der erhitzte Wind mitunter Benutzung; bei der Verarbeitung rohfrischenden Roheisens auf Schmiedeeisen ist er von Nachteil. Um den verschiedenen Verhältnissen Rechnung tragen zu können, baut man bisweilen, wie bei dem oben abgebildeten Feuer, den Winderhitzer so ein, daß man nach Belieben mit warmem oder kaltem Winde arbeiten kann.

Das ganze Verfahren des Frischens von Einsatz zu Einsatz beansprucht etwa zwei Stunden Zeit, bei der jetzt wenig üblichen Dreimalschmelzerei drei bis vier Stunden. Ein Feuer liefert wöchentlich, je nach der Größe des Einsatzes, 7 bis 12 t; der Verbrauch an Holzkohlen für 1000 kg Luppeneisen beträgt 800 bis 1000 kg, bei der Stahlerzeugung 1500 bis 1600 kg, der Abbrand (Verringerung des Eisengewichtes) durchschnittlich 14 v. H. des verarbeiteten Roheisengewichtes, wenn Schmiedeeisen dargestellt wird, und 10 v. H. bei der Stahlerzeugung. Für die Ausführung der verschiedenen Arbeiten sind in der Schicht zwei bis drei Arbeiter erforderlich.

d) Der chemische Verlauf des Frischfeuerschmelzens.

Die Verbrennung des Kohlenstoffes, Siliciums und Mangans beim Frischen im Frischfeuer wird teilweise durch den Sauerstoff des Gebläsewindes, zum größeren Teile aber durch die entstehende oder absichtlich zugesetzte eisenoxyduloxydreiche Schlacke bewirkt. Daß unter dem Einflusse des Windes eine eisenreiche Schlacke entstehen kann, ehe jene Körper verbrannt worden sind, und daß trotzdem nachher dieselbe Schlacke oxydierend auf die Körper einzuwirken vermag, erklärt sich leicht aus der starken Verdünnung der letzteren im Eisenbade. Die Berührung des freien Sauerstoffes mit dem Eisen ist weit ausgedehnter als mit den anderen Bestandteilen; daher werden von ersterem zunächst auch größere Mengen verbrannt, und zwar bei ausreichend großer dargebotener Oberfläche nicht allein zu Oxydul, sondern teilweise auch zu Oxyd. Bleibt aber die Schlacke in längerer Berührung mit dem Roheisen, so wird vorhandenes Eisenoxyd zu Oxydul reduziert[1]), indem es einen Teil seines Sauerstoffgehaltes zur Verbrennung der übrigen Bestandteile des Roheisens abgibt. Setzt man schon beim Einschmelzen eisenoxydhaltige Körper (Schlacken, Hammerschlag) zu, so braucht die als Verbrennungsmittel dienende Schlacke nicht erst aus dem Roheisen gebildet zu werden; man spart Zeit und verringert den Abbrand.

In der Temperatur, welche im Frischfeuer erreicht wird, sind Mangan und Silicium leichter verbrennlich als Kohlenstoff. Die Verbrennung des letzteren ist daher unbedeutend, solange von ersteren noch größere Mengen zugegen sind; erst nach ihrer Ausscheidung verläuft die Verbrennung des Kohlenstoffes rascher. Kleine Mengen Silicium und Mangan können immerhin in dem Eisen zurückbleiben, zumal wenn das Schmelzen rasch verläuft; die durch Analyse gefundenen Gewichtsmengen dieser Körper im Frischfeuereisen gehören allerdings häufig nicht sowohl dem Eisen selbst als vielmehr der eingemengten Schlacke an.

Phosphor kann zum Teil ausgeschieden werden, wenn eine eisenreiche Schlacke zugegen ist.

Je reicher das zu verfrischende Roheisen an auszuscheidenden Körpern ist, desto langsamer ist der Verlauf des Frischens. Von diesem Gesichtspunkte aus nennt man, wie schon erwähnt wurde, graues oder manganreiches weißes Eisen, welches wegen seines Gehaltes an Silicium und Mangan einer verhältnismäßig langen Zeit zur Umwandlung in schmiedbares Eisen bedarf, rohfrischend, manganarmes Weißeisen, bei dem jene Umwandlung rasch eintritt, garfrischend; ein beschleunigter Verlauf des Frischens heißt Gargang, ein verzögerter Rohgang.

Außer der Beschaffenheit des Roheisens können auch andere Umstände den Verlauf des Frischens beeinflussen.

Hohe Temperatur im Feuer verlangsamt das Frischen, indem sie zu vermehrter Kohlenoxydbildung bei Verbrennung der Kohlen

---

[1]) Eine Reduktion von Eisenoxydul zu metallischem Eisen kann höchstens ausnahmsweise und in sehr beschränktem Maße stattfinden. Näheres auf Seite 310 I.

Veranlassung gibt. Die Verwandtschaft des Kohlenstoffes zum Sauerstoff wird gesteigert; die Holzkohlen verbrennen rascher, und zwar auf Kosten nicht allein des Sauerstoffes im Gebläsewinde, sondern auch des Sauerstoffes der Schlacken; letztere werden eisenärmer, und in der kohlenoxydreicheren Atmosphäre finden sie weniger Gelegenheit, sich aufs neue mit Eisen zu sättigen.

Starke Neigung und geringe Höhe der Form über dem Boden des Feuers befördern den Gargang. Die Ursachen hierfür liegen nahe. Je schwächer die Kohlenschicht ist, welche der Wind zu durchdringen hat, ehe er zum Boden gelangt, desto mehr unverzehrter Sauerstoff kommt mit dem am Boden sich sammelnden Eisen nebst Schlacken in Berührung, desto stärker ist die hier stattfindende Oxydation.

Durch Gargang des Feuers wird Zeit und Brennstoff gespart; schwieriger aber ist bei dem rascheren Verlaufe des Schmelzens die Erzielung eines gleichmäßigen Erzeugnisses, und größer pflegt der Eisenabbrand zu sein. Daher ist ein allzu starker Gargang keineswegs vorteilhaft, und durch entsprechende Auswahl der Roheisensorten wie durch entsprechende Leitung des Verfahrens sucht man ihn zu vermeiden. Besonders wichtig ist die Verlangsamung des Ganges bei Herstellung von Stahl; denn je kohlenstoffreicher das Enderzeugnis ausfallen soll, desto sorgfältiger muß selbstverständlich eine zu rasche und übermäßige Entkohlung vermieden werden.

Nur spärlich sind die angestellten Untersuchungen über den chemischen Verlauf des Frischfeuerschmelzens, da das Verfahren bereits an Wichtigkeit verloren hatte, als man überhaupt anfing, durch chemische Untersuchungen den Verlauf der Verfahren der Eisendarstellung zu verfolgen, und nicht alle veröffentlichten Analysen sind hinsichtlich ihrer Richtigkeit über jeden Zweifel erhaben. Das meiste Vertrauen dürfte folgende von Botischew[1]) angestellte Ermittelung über die Zusammensetzung des Eisens in verschiedenen Abschnitten des Verfahrens auf dem Eisenwerke Nischneturinski verdienen.

Es enthielten	Graphit	Gebundene Kohle	Gesamtkohlenstoff	Silicium	Mangan
das Roheisen	3,80	0,40	3,70	0,94	0,17
das Eisen nach 30 Minuten .	2,56	1,25	3,81	1,10	0,09
„ „ „ 1 Stunde . .	1,45	1,02	2,46	0,47	0,04
„ „ „ 1 Stde. 50 Min.	—	0,54	0,54	0,26	—
„ „ „ 2 Stdn. 30 „	—	0,58	0,58	0,20	—
„ „ „ 2 „ 35 „	—	0,20	0,20	0,16	—
die Luppe vor dem Zängen 2 Stunden 40 Minuten . . .	—	0,17	0,17	0,06	—
die Luppe nach dem Zängen .	—	0,16	0,16	0,04	—
das geschweißte und ausgeschmiedete Eisen	—	0,11	0,14	0,03	—

[1]) Vergl. Literatur. Eine in der nämlichen Abhandlung enthaltene zweite Analysenreihe verdient Mißtrauen, da bei dieser der gesamte Kohlenstoff-

Der Analyse zufolge war das verwendete Roheisen grau, mäßig garfrischend. Die stattfindenden Veränderungen in der Zusammensetzung des Eisens entsprechen ziemlich genau dem soeben in allgemeinen Zügen geschilderten Verlaufe des Frischfeuerschmelzens.

Zuerst verbrennt Eisen in größeren Mengen, seine Menge vermindert sich. Es ist daher nicht auffällig, daß der Gehalt an Kohlenstoff in den ersten 30 Minuten des Schmelzens etwas zunimmt. Bedenken muß jedoch die gefundene Zunahme des Siliciums erwecken; es ist nicht anzunehmen, daß nicht auch Silicium schon beim Einschmelzen verbrannt sein sollte. Nach den ersten 30 Minuten aber vermindert sich der Siliciumgehalt rasch bis auf

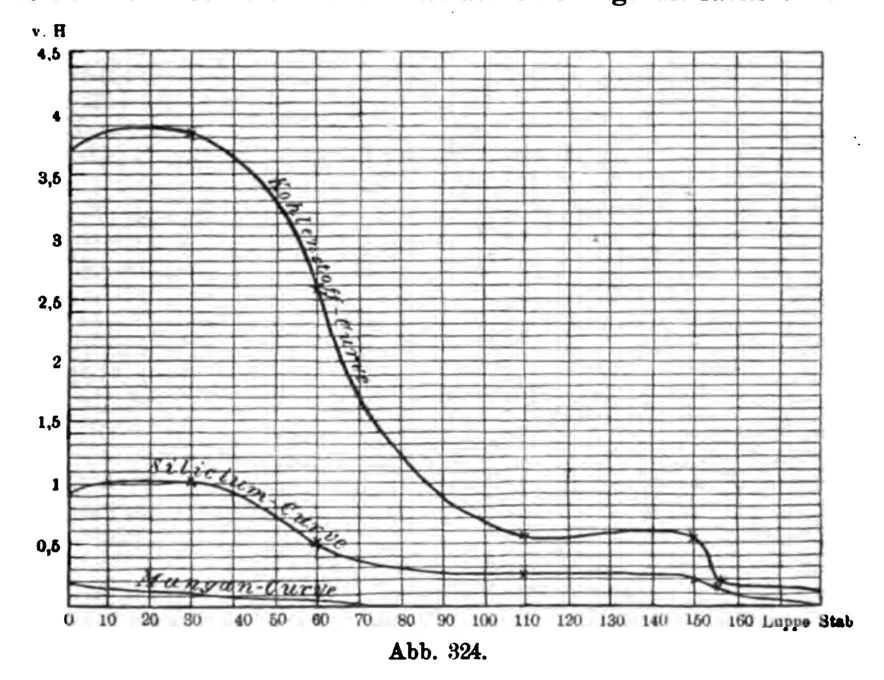


Abb. 324.

kleine Mengen, die vermutlich noch zum Teile der eingemengten Schlacke angehören; ebenso verbrennt der Kohlenstoffgehalt, und der ohnehin nicht beträchtliche Mangangehalt ist schon in der ersten Stunde fast vollständig verschwunden.

Zu bedauern ist, daß die Ermittelungen nicht auch auf das Verhalten des Phosphors und Schwefels ausgedehnt wurden.

Stellt man den Verlauf des Schmelzens nach Maßgabe der mitgeteilten Analysen durch Schaulinien dar, deren Ordinaten dem Gehalte der einzelnen Bestandteile und deren Abszisse der Zeitdauer entsprechen, so erhält man das in Abb. 324 wiedergegebene Bild.

---

gehalt des Roheisens mit 6,58 v. H. bei 0,17 v. H. Mangan angegeben ist. Einen solchen Kohlenstoffgehalt können nur manganreiche und siliciumarme Eisenmangane enthalten.

e) Die Erzeugnisse des Frischfeuerbetriebes.

Der Eigenschaften, durch welche das Frischfeuereisen vor anderen Sorten Schweißeisens sich auszeichnet, wurde schon früher gedacht: bei sorgfältiger Ausführung des Verfahrens ist es möglich, ein gleichmäßigeres und schlackenreineres, deshalb zäheres, für Formveränderungen im kalten Zustande besser geeignetes Eisen als durch andere Verfahren der Schweißeisendarstellung zu erzeugen; aber Phosphor wird nur unvollständig abgeschieden, und zur Erlangung eines vorzüglichen Eisens ist deshalb die Anwendung möglichst phosphorfreier Roheisensorten erforderlich. Die Anforderungen, welche an die Geschicklichkeit und Aufmerksamkeit des Arbeiters gestellt werden, sind jedoch beim Frischfeuerbetriebe höher als bei vielen anderen Verfahren. Das Eisen selbst ist fast während des ganzen Verlaufes durch die bedeckenden Kohlen dem Auge entzogen; nur aus äußeren Kennzeichen, dem Aussehen der Flamme, dem Funkenwerfen, und aus dem Gefühle beim Untersuchen des am Boden befindlichen Eisens mit der Brechstange vermag der Arbeiter seine Schlüsse zu ziehen.

Neben dem Eisen erfolgt Schlacke. Außer dem Kohlenstoff gehen alle übrigen aus dem Roheisen ausscheidenden Bestandteile als Oxyde in die Schlacke; nur Schwefel kann auch, ohne oxydiert zu werden, von der Schlacke aufgenommen werden.

Wie aus dem geschilderten Verlaufe des Verfahrens sich ergibt, ist jede dabei erfolgende Schlacke reich an Eisen. Teils ist es als Oxydul, teils als Oxyd zugegen, und der Eisenoxydgehalt pflegt mit dem gesamten Eisengehalte zuzunehmen; die oxydierende Wirkung der Schlacke ist aber um so kräftiger, je sauerstoffreicher sie ist, d. h. je mehr Eisenoxyd Fe_2O_3 sie enthält.

Der Eisengehalt der Schlacke ist jedoch in den verschiedenen Abschnitten des Schmelzens und bei verschiedenen Roheisensorten verschieden. Verarbeitet man silicium- oder manganreiches Eisen, so scheiden sich diese beiden Körper zuerst ab; man bekommt eine um so eisenärmere Schlacke, je größer ihr Gehalt im Eisen war. Läßt man nun diese zuerst gebildete Schlacke abfließen, so reichert sich rasch der Eisengehalt der zurückbleibenden Schlacke an, und diejenige Schlacke, welche schließlich beim Zängen der Luppen abfließt, ist am eisenreichsten.

Eisenärmere Schlacken, welche im Anfange des Frischens entstehen, nennt man Rohschlacken, eisenreichere, gegen Ende des Schmelzens entstanden, Garschlacken. Erstere sind dünnflüssig, zum Kristallisieren geneigt, schwarz oder, in dünnen Blättchen, braungrün gefärbt mit starkem Glanze; letztere fließen träge, erstarren aber allmählicher als die Rohschlacken und kristallisieren deshalb weniger leicht, sind schwarz mit Metallglanz und besitzen ein bedeutendes spezifisches Gewicht.

Einige Beispiele der chemischen Zusammensetzung mögen in der Tabelle auf Seite 195 folgen.

Durchnittlich kann man den Kieselsäuregehalt der Rohschlacken zu 30 v. H., der Garschlacken zu 12 v. H., den Eisengehalt der ersteren zu 47 v. H., der letzteren zu 60 v. H. annehmen. Ein

	Rohschlacken			Garschlacken		
	Von Rybnik nach Karsten	Nach Rammelsberg	Nach Rammelsberg	Harzer Schlacke. Nach Rammelsberg	Harzer Schlacke. Nach Rammelsberg	Luppenschlacke. Nach Botischew
SiO_2 . . .	28,0	30,50	31,47	17,60	14,18	3,10
FeO . . .	61,2	48,33	44,34	67,71	65,06	Eisen
Fe_2O_3 . . .	2,25	4,57	7,72	6,14	14,93	71,62
MnO . . .	6,70	7,21	9,13	5,09	4,78	0,41
MgO . . .	2,40	4,20	3,58	0,86	—	—
CaO . . .	0,90	4,82	4,02	0,89	1,28	0,23
Al_2O_3 . . .	0,20	—	—	0,47	1,23	0,73
P_2O_5 . . .	n. best.	n. best.	n. best.	2,32	0,62	n. best.
S	„	„	„	0,25	0,13	„

Teil der Garschlacke wird gewöhnlich beim Frischen wieder zugesetzt, um als Oxydationsmittel zu dienen. Die hierfür nicht benutzten Frischfeuerschlacken stürzte man in früherer Zeit als wertlos auf die Halde oder benutzte sie allenfalls zur Wegebesserung; neuerdings hat man zahlreiche Schlackenhalden der Frischfeuer (wie die der Rennfeuer und Stücköfen) wieder aufgegraben und die Schlacken beim Hochofen verhüttet.

4. Das Puddeln oder Flammofenfrischen.

a) Einleitung. Geschichtliches.

Als im Laufe des 18. Jahrhunderts der Bedarf an Eisen mehr und mehr zunahm, während die Wälder von Jahr zu Jahr stärker sich lichteten und die Holzkohlen in gleichem Verhältnisse teurer und seltener wurden, drängten diese Umstände unaufhaltsam zu Versuchen, auch bei der Darstellung des schmiedbaren Eisens, wie schon vorher beim Hochofenbetriebe, mineralische Brennstoffe statt der bis dahin ausschließlich verwendeten Holzkohlen zur Anwendung zu bringen.

Bei den älteren Verfahren zur Darstellung schmiedbaren Eisens war eine Benutzung mineralischer, stets schwefelhaltiger Kohlen nicht möglich. Man mußte also einen Ofen anwenden, in welchem das zu verarbeitende Eisen nicht mit dem Brennstoffe selbst in Berührung kam, sondern nur durch die entwickelte Flamme erhitzt wurde, um der Gelegenheit zur Aufnahme von Schwefel entzogen zu sein, und man erlangte alsdann den andern Vorteil, daß man rohe, unverkohlte Brennstoffe zur Verwendung bringen konnte. Auf den einzuschlagenden Weg wies die Einrichtung der schon seit Jahrhunderten benutzten Flammöfen zum Schmelzen anderer Metalle hin.

Durch diese Verhältnisse angeregt, erfand der Engländer Henry Cort im Jahre 1784 das Flammofenfrischen oder,

wie es in Rücksicht auf die Eigentümlichkeiten des Arbeitsverfahrens häufiger genannt wird, das Puddeln[1]).

Der Cortsche Flammofen ermöglichte nun zwar die Verwendung von Steinkohlen an Stelle der Holzkohlen für die Darstellung schmiedbaren Eisens, aber er besaß noch Mängel, welche der raschen Ausbreitung des neuen Verfahrens hinderlich waren. Sein Herd war, wie der aller übrigen bis dahin benutzten Flammöfen, aus kieselreichem Stoffe hergestellt, so daß die Bildung einer basischen, eisenoxydreichen Schlacke unmöglich war. Die Verbrennung des Kohlenstoffs im Eisen vollzog sich daher nur sehr langsam, die Erzeugung des Ofens war gering, der Brennstoffaufwand und die Arbeitslöhne waren erheblich. Auch das schon von Cort in Anwendung gebrachte unausgesetzte Rühren des Metallbades mit eisernen Stangen vermochte diese Übelstände nur in beschränktem Maße abzumindern.

Wo also nicht durch einen großen Mangel an Holzkohlen eine dringende Veranlassung zur Einführung des neuen Verfahrens gegeben war, sah man noch davon ab, und Cort starb im Jahre 1800 in Dürftigkeit, ohne von seiner Erfindung besonderen Nutzen gehabt zu haben.

Ein entschiedener Fortschritt war es, als im Jahre 1818 Baldwin Rogers in Glamorganshire die Puddelöfen mit einer eisernen Herdeinfassung, insbesondere einem eisernen Boden, versah; aber zur vollen Bedeutung gelangte diese Einrichtung erst seit dem Jahre 1840, als man nach dem Vorschlage des Engländers Joseph Hall anfing, den eisernen Herd mit eisenoxydreichen Körpern auszufuttern. Nunmehr erst waren die Vorbedingungen zur Entstehung einer oxydreichen Schlacke und zur raschen Durchführung des Verfahrens gegeben. In der Tat stieg alsbald nach Einführung dieser Verbesserungen die Leistung eines Ofens auf das Dreifache, während der Abbrand und Brennstoffverbrauch sich verringerten. Im Vergleiche zu dem Frischfeuerbetriebe bot jetzt das Puddelverfahren nicht allein den Vorteil der Benutzung roher und mithin billigerer Brennstoffe, sondern auch der größeren Leistungsfähigkeit des einzelnen Ofens. Als nun bald darauf die rasche Ausdehnung des Eisenbahnnetzes nicht allein den Verbrauch des schmiedbaren Eisens außerordentlich steigerte, sondern auch in Gegenden, welche selbst arm an Steinkohlen waren, deren Bezug zu verhältnismäßig billigen Preisen ermöglichte, konnte es nicht ausbleiben, daß das nunmehr vervollkommnete Puddelverfahren in allen Ländern, wo in größerem Maße die Eisenerzeugung betrieben wurde, sich Eingang verschaffte und den Frischfeuerbetrieb verdrängte; ja, daß selbst da, wo Steinkohlen noch zu kostspielig waren, man daran ging, Puddelöfen mit Anwendung von Holz, Torf oder Braunkohlen, teils im rohen Zustande, teils nach vorausgegangener Vergasung, zu errichten.

In den ersten Jahrzehnten nach Einführung des Puddelns stellte man ausschließlich kohlenstoffarmes Eisen — Schmiedeeisen — im Puddelofen dar. Das schon seit lange geübte Verfahren der

[1]) *To puddle* = umrühren, durcheinander mischen.

Stahldarstellung im Frischfeuer gab Anregung, auch im Puddelofen die unmittelbare Herstellung von Stahl durch rechtzeitige Unterbrechung der Entkohlung zu versuchen. Ziemlich lange jedoch währte es, bis diese Versuche von durchgreifendem Erfolge gekrönt waren. Deutschland und Österreich, wo der Herdfrischstahl seit alters her erzeugt wurde, lieferten auch den ersten Puddelstahl. Nach Tunner[1]) wurde 1835 von einem kärntnischen Eisenwerke Puddelstahl dargestellt; in den vierziger Jahren beschäftigte sich auch ein westfälisches Eisenwerk mit der Erzeugung von Puddelstahl. Allgemein bekannt wurde der Puddelstahl erst seit der Londoner Weltausstellung, im Jahre 1851, auf welcher verschiedene westfälische Werke Proben zur Anschauung gebracht hatten.

Um die Handarbeit des Rührens beim Mischen der als Verbrennungsmittel dienenden Schlacke mit dem Roheisen entbehrlich zu machen, führte 1859 der Schwede Oestlund einen Ofen mit drehbarem Herde ein, durch dessen Drehung jene Mischung bewirkt werden sollte, und verschiedene Formen von Drehöfen haben seitdem vorübergehend Anwendung für das Puddeln gefunden. Am berühmtesten unter diesen ist ein im Jahre 1871 durch den Amerikaner Danks erfundener Drehofen geworden, welcher dem auf Seite 176 I abgebildeten Drehofen ähnelte. Auch der auf Seite 177 I dargestellte Pernotofen war ursprünglich für das Puddelverfahren bestimmt. Dennoch ist die Zahl der überhaupt angelegten Drehöfen gering geblieben im Vergleiche zu der Zahl der Öfen mit feststehendem Herde, und in der Jetztzeit sind Drehöfen nur noch sehr selten in Benutzung. Die Einrichtung eines Drehofens ist kostspieliger als die eines feststehenden, die erforderlichen Ausbesserungsarbeiten sind häufiger als bei letzterem. Insbesondere ist die Herstellung des Futters eines Drehofens schwieriger, da es nicht allein gegen die chemischen Einflüsse des Verfahrens widerstandsfähig sein, sondern auch den Erschütterungen beim Drehen des Ofens gegenüber sich als haltbar erweisen muß, und öfter als im feststehenden Ofen muß das Futter erneuert werden. Um die höheren Anlagekosten der Drehöfen vorteilhafter ausnutzen zu können, richtete man sie für größere Einsätze ein; während aber der Einsatz des feststehenden Ofens in mehrere kleine Luppen geteilt wird, die dann einzeln gezängt und ausgewalzt werden, erfolgte in den meisten Drehöfen — und zwar gerade in denjenigen, deren sonstige Ergebnisse am günstigsten waren — unter Ausschluß fast aller Handarbeit eine einzige sehr große Luppe, die alsdann, um gezängt und gewalzt zu werden, ganz besonderer Vorrichtungen bedurfte. Trotzdem blieb sie schlackenreicher als die aus kleineren Einsätzen erfolgenden Luppen der feststehenden Öfen und erheischte eine umfänglichere Bearbeitung, um ein brauchbares Eisen zu liefern[2]).

---

[1]) Jahrbuch der Bergakademien zu Leoben und Přibram 1853, Seite 281. Vergl. auch H. Fehland, „Geschichtliches über die Puddelstahlfabrikation" in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 224.

[2]) Nach Engineering Band 65, Seite 295, wurden im Jahre 1898 auf dem französischen Werke Creusot noch drei Danks'sche Drehpuddelöfen betrieben, um ein an Schwefel und Phosphor besonders armes Eisen zu erzeugen, welches alsdann im Martinofen auf Flußeisen verarbeitet wurde. Der genannte Bericht enthält auch Abbildungen dieser Öfen.

In folgendem kann daher unter Hinweis auf die betreffende, am Schlusse dieses Abschnittes gegebene Literatur von der Beschreibung der zur Anwendung gelangten Drehöfen abgesehen werden.

b) Der Puddelofen.

Allgemeines.

Je nachdem die Puddelöfen für kleinere Einsätze bestimmt und den Arbeitern nur von einer Seite zugänglich sind oder bei entsprechend größerer Breite an zwei gegenüberliegenden Seiten Türen besitzen und die Verarbeitung größerer Einsätze als in jenem Falle ermöglichen, unterscheidet man einfache und Doppelpuddelöfen. Die Erzeugungsfähigkeit der einfachen Öfen ist geringer als die der Doppelöfen, und der Brennstoffverbrauch zur Darstellung einer bestimmten Menge Luppeneisen durchschnittlich höher; aber leichter ist es in den einfachen Öfen als in Doppelöfen, aus dem kleineren Einsatze ein gleichartig durchgearbeitetes, schlackenarmes Erzeugnis zu gewinnen. Daher sind einfache Öfen kaum minder häufig als Doppelöfen in Benutzung.

Die Puddelöfen sind mit Rost- oder mit Gasfeuerung versehen. Bei den einfachen Puddelöfen findet man Rostfeuerung häufiger als Gasfeuerung. Eine Eigentümlichkeit der Gasfeuerungen, welche in manchen anderen Fällen Veranlassung zu ihrer Einführung gab, die leichtere Erzeugung hoher Verbrennungstemperaturen, kommt beim Puddelofenbetriebe weniger in Betracht, weil man hier keiner höheren Temperatur bedarf, als auch bei Steinkohlenfeuerung auf dem Roste leicht zu erreichen ist; anderseits ist beim Puddelofenbetriebe öfter ein rasches Wechseln der Temperatur erforderlich, welches sich bei Rostfeuerung ziemlich leicht, bei manchen Gasfeuerungen weniger leicht erzielen läßt. Gegen die Anwendung von Siemensfeuerungen ist — abgesehen von ihren höheren Anlagekosten — mitunter die Beobachtung geltend gemacht worden, daß die Wärmespeicher dieser Öfen beim Puddeln leichter als bei anderen Verfahren durch Flugstaub verstopft werden, und daß, wo nicht Wasserkraft für den Betrieb der beim Puddeln erforderlichen Zängevorrichtungen und Luppenwalzwerke vorhanden ist, die alsdann unentbehrlichen Dampfkessel bei Puddelöfen mit Siemensfeuerung eines besonderen Aufwandes von Brennstoff bedürfen, während bei Rostfeuerung und auch bei einfacherer Gasfeuerung die abziehenden heißen Gase des Puddelofens zur Erzeugung des erforderlichen Dampfes auszureichen pflegen. Bei Doppelpuddelöfen dagegen bildet Gasfeuerung die Regel, Rostfeuerung die Ausnahme. Die größeren Abmessungen dieser Öfen, insbesondere ihre größere Breite, würden ihre gleichmäßige Erhitzung durch Rostfeuerung erschweren; bei Benutzung gasförmiger Brennstoffe, welche in zweckentsprechender Weise eingeleitet und verbrannt werden können, fällt die Schwierigkeit weg.

Einfache Puddelöfen.

Sie sind für einen jedesmaligen Einsatz von 220 bis 275 kg Roheisen bestimmt und aus den besprochenen Gründen in der

99

in
ie
ng
r,
ng
n-
r-
g
r-
er
nd
er
es

te
gs
st
t-
er
ng
en
re
ne
bt
ge
en

en
an
nd
ch
il,
nd
er
er-
s
lie
rd
s),
le
lie
en-
ch
n s
ler
ler

In
er-

Regel mit Rostfeuerung versehen. Ein solcher Puddelofen ist in Abb. 325 bis 328 dargestellt. Seine allgemeine Einrichtung ist die nämliche wie bei den meisten anderen Flammöfen mit Rostfeuerung (Seite 147 I). An der einen Seite des Ofens liegt der Rost, welcher, gemäß der verschiedenen Beschaffenheit des zur Verwendung kommenden Brennstoffs, als Planrost oder als Treppenrost eingerichtet sein kann und von einer Schüröffnung an der Vorderseite des Ofens aus bedient wird; über die Feuerbrücke hinweg gelangt die Flamme auf den Herd, um, nachdem sie diesen verlassen hat, durch einen Fuchskanal entweder unmittelbar nach einer Esse oder — häufiger — zunächst nach einem Dampfkessel und von hier nach der Esse geführt zu werden. In Abb. 327 ist der stehende Dampfkessel angedeutet, welcher durch die Abhitze des abgebildeten Ofens geheizt wird.

Eigentümlich ist die durch den Zweck des Ofens bedingte Einrichtung des Herdes. Die Grundform entspricht keineswegs den früher (Seite 148 I) erörterten Bedingungen für eine möglichst günstige Ausnutzung der entwickelten Wärme; sie ist jedoch notwendig, damit man imstande sei, von einer einzigen Stelle an der Vorderseite des Ofens aus, und zwar von da, wo die kleine Öffnung in der zum Aufziehen eingerichteten Einsetztür (Abb. 325) sich befindet, mit einer eingeschobenen Eisenstange sämtliche Stellen des Herdes zu erreichen. Wenn also der Abstand der Feuerbrücke von der Fuchsbrücke, d. i. die Länge des Herdes, sowie seine Breite an der Fuchs- und Feuerbrücke bestimmt sind, beschreibt man von jener Stelle aus einen Bogen, welcher die rückseitige Begrenzung des Herdes bildet, und verbindet durch gerade Linien die Türöffnung mit der Feuerbrücke und Fuchsbrücke.

Da aber von der Tür aus unausgesetzt kalte Luft in den Ofen einströmt, würde der Herd ungleichmäßig erwärmt werden und an der Vorderseite kalt bleiben, wenn man der Feuerbrücke und Fuchsbrücke die gleiche Mittellinie geben, also die Flamme durch die Mitte des Ofens führen wollte. Man vermeidet den Nachteil, indem man die Fuchsbrücke um 80 bis 90 mm weiter nach vorn verlegt. Zu demselben Zwecke bringt man die Türöffnung der Feuerbrücke etwas näher als der Fuchsbrücke (Abb. 327); der Winkel, welchen die Herdbegrenzung zwischen Tür und Fuchsbrücke mit der Mittellinie bildet, wird hierdurch flacher, die Flamme findet für ihre Fortbewegung an dieser Seite geringere Widerstände. Auch die Form des Gewölbes, welches den Herd überspannt, ist der Erreichung desselben Zieles angepasst (Abb. 328); es liegt an der Türseite höher als an der Rückseite, damit der Ofenquerschnitt nach der Türseite hin sich erweitere und die Flamme veranlaßt werde, vorzugsweise hier ihren Weg zu nehmen.

Die Sohle des Ofenherdes wird, wie früher erwähnt wurde, durch Gußeisenplatten gebildet, welche quer von einer Seite des Ofens zur anderen hinübergehen und frei auf eisernen Trägern oder gemauerten Pfeilern aufliegen, so daß die Luft von untenher zutreten und abkühlend auf die Platten wirken kann.

Auch die Seitenbegrenzungen des Herdes sind gekühlt. In der Regel wird dieser Zweck in der durch die Abbildung ver-

anschaulichten Art und Weise erreicht. Eine hohl gegossene Einfassung, das Herdeisen oder Legeeisen genannt, im Innern etwa 50 mm weit, umschließt den Herd mit Ausnahme der Türöffnung und wird durch hindurchgeleitetes Wasser kühl erhalten. Man gießt das Legeeisen entweder in einem Stücke oder in zwei Stücken, welche an der Rückseite zusammenstoßen und in geeigneter Weise verbunden sind (vergl. Abb. 327). Die beiden Enden des Legeeisens ragen vorn neben der Ofentür aus dem Ofen heraus und sind hier mit eisernen Röhren von etwa 25 mm Weite verschraubt, durch deren eine das Kühlwasser von einem höher gelegenen Behälter aus zufließt, um, nachdem es den Herd umkreist hat, durch die zweite abzufließen. Der Zufluß findet an der Seite der Feuerbrücke statt, weil diese der stärksten Kühlung bedarf, der Abfluß an der Seite der Fuchsbrücke. Zweckmäßig ist es, den Abfluß so einzurichten, daß das Wasser durch die freie Luft in ein Abfallrohr mit Trichter oder in einen neben dem Ofen befindlichen Wassertrog hinabfließt, damit man sofort bemerkt, wenn etwa eine Verstopfung der Leitung eingetreten sein sollte. Der erforderliche Wasserbedarf zur Kühlung des Legeeisens beträgt etwa 12 bis 15 kg in der Minute.

In anderen Fällen hat man sich darauf beschränkt, nur die Fuchs- und Feuerbrücke zu kühlen, die Rückwand nicht; mitunter auch hat man sich mit einer Luftkühlung statt der Wasserkühlung begnügt. Hinsichtlich der bedeutend geringeren Wirkung der Luftkühlung, zumal wenn nur der natürliche Luftzug dafür benutzt wird, möge auf das auf Seite 181 I Gesagte verwiesen werden.

Es ist unleugbar, daß die kräftige Kühlung, welche ein ringsherum laufendes Legeeisen bewirkt, eine Erhöhung des Brennstoffverbrauches bedingt; die Kosten hierfür aber sind geringer als die Mehrkosten, welche die geringere Haltbarkeit eines weniger stark gekühlten Ofens verursacht.

Wie schon erwähnt wurde, erhält der gußeiserne Herd, ehe er in Benutzung genommen werden kann, eine Ausfutterung aus eisenoxydreichen Schlacken, gewöhnlich Puddel- oder Schweißofenschlacken; auch reine Eisenerze werden mitunter verwendet. Man bestreicht zu diesem Zwecke die Bodenplatte und die innere Seite des Legeeisens mit Ton, schüttet die Schlacken, welche zu Walnuß- bis Faustgröße zerschlagen wurden, hinein, breitet sie aus und feuert nunmehr den Ofen an. Zeigt sich an der Oberfläche die beginnende Sinterung, so bricht man mit einer eisernen Stange die Schlacken auf und bringt die unten liegenden Teile nach oben, bis das Ganze eine gleichmäßig dickbreiige Beschaffenheit angenommen hat. Alsdann schüttet man Hammerschlag, Eisendrehspäne oder ähnliche Körper hinein, welche entweder von vornherein schon sehr eisenoxyduloxydreich sind oder unter der oxydierenden Einwirkung des Gasstromes doch leicht in Eisenoxyduloxyd umgewandelt werden und die Strengflüssigkeit des Futters erhöhen, verteilt sie gleichmäßig, schließt dann die Türen und gibt mehrere Stunden hindurch starke Hitze. Nunmehr öffnet man die Tür, breitet die Masse, welche unter der Einwirkung der durch die Tür eintretenden kalten Luft rasch teigig wird, am Boden und

ringsum an den Wänden aus, so daß der Herd Muldenform bekommt, und läßt allmählich erkalten. Ein gut gelungener Herd darf weder Risse noch Vorsprünge an der Oberfläche zeigen, welche leicht zu der Bildung größerer Ansätze geschweißten Eisens Veranlassung geben.

Die Stärke des Schlackenherdes beträgt in der Mitte 100 bis 120 mm, an den Rändern 120 bis 150 mm.

Nach jedem Einsatze wird der Herd nachgesehen und, wenn nötig, ausgebessert. Ist er allzu schadhaft geworden, so wird er nach dem Kaltlegen des Ofens ausgeschlagen und neu hergestellt.

Die Einrichtung der an der Vorderseite des Ofens befindlichen Einsatztür ist aus Abb. 325 und 328 zu ersehen. Sie besteht aus einem kastenförmigen Gußstücke und ist an der dem Ofeninnern zugekehrten Seite mit feuerfesten Ziegeln oder feuerfester Masse ausgefuttert. Mit Hilfe eines Hebels und einer Kette wird sie emporgezogen und wieder niedergelassen, wobei sie zwischen senkrechten, an die gußeisernen Umkleidungsplatten des Ofens angegossenen Leisten geführt ist. Damit aber nicht während der lange andauernden Arbeiten mit Rührhaken und Brechstangen im Ofen die ganze Tür emporgezogen zu werden braucht — wobei reichliche Mengen äußerer Luft eintreten und den Ofen abkühlen würden —, ist an ihrer unteren Seite eine kleinere Öffnung, etwa 120 bis 150 mm breit und hoch, die Arbeitstür genannt, ausgespart, durch welche jene Werkzeuge in den Ofen hineingeschoben werden können. Da die Ränder dieser Öffnung durch die Werkzeuge stark zu leiden haben, versieht man sie wohl mit einem besonderen Einsatzstücke aus Gußeisen, welches nach Bedarf ausgewechselt werden kann, wie in Abb. 325 zu erkennen ist.

Auf englischen Eisenwerken verwendet man bisweilen wassergekühlte Türen, denen das Wasser durch Kautschukschläuche zugeführt wird. Sie sind haltbarer, und für den Arbeiter ist der Aufenthalt in der unmittelbaren Nähe der Tür dadurch weniger beschwerlich.

Unterhalb der Tür befindet sich eine starke wagerecht liegende Gußeisenplatte, die Schwelle, auf welcher die Tür, wenn sie geschlossen ist, aufruht. Sie bildet zugleich die Unterstützung für die in den Ofen geschobenen Rührhaken und Brechstangen und pflegt durch deren unausgesetzte Hin- und Herbewegung ziemlich rasch abgenutzt zu werden. Häufig (auch bei dem abgebildeten Ofen) gibt man ihr in Rücksicht hierauf einen Einsatz aus hartem Stahle unterhalb der Arbeitstür, welcher der Abnutzung länger widersteht und sich ohne Schwierigkeit auswechseln läßt.

Den Fuchskanal läßt man entweder, wie bei dem abgebildeten Ofen, etwas ansteigen (fliegender Fuchs), oder man gibt ihm Neigung vom Ofen aus abwärts (fließender Fuchs). Bei einem Fuchse der ersteren Art fließt die Schlacke, welche beim Aufkochen des Eisens in den Fuchs tritt, in den Ofen zurück; bei dem anderen Fuchse fließt sie in der Richtung des Flammenstromes abwärts und sammelt sich an der tiefsten Stelle, wo man sie durch eine Öffnung in der Umfassungswand austreten läßt. Besondere Vorteile besitzt keine der beiden Anordnungen vor der anderen.

Einige Abweichungen von der beschriebenen Einrichtung verdienen Erwähnung.

Wo man ausreichend aschenarme Kohlen zur Verfügung hat, betreibt man die Puddelöfen nicht selten mit Unterwind (Seite 150 I), spart dadurch an Brennstoff, erschwert den Eintritt kalter Luft durch die Arbeitstür und wird leichter befähigt, die Temperatur im Ofen zu regeln[1]).

Um das für die Verarbeitung bestimmte Roheisen vorzuwärmen, dadurch die Zeitdauer der Arbeit abzukürzen und den Brennstoffverbrauch zu verringern, ordnet man bisweilen hinter dem eigentlichen Herde einen zweiten Herd, Vorwärmherd genannt, an, auf welchem das Roheisen sich befindet, während

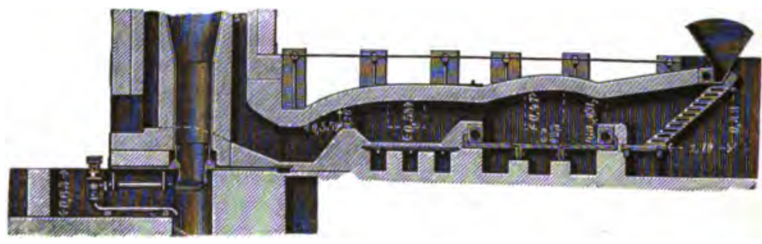


Abb. 329.

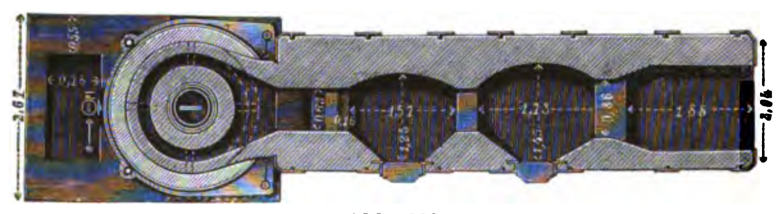


Abb. 330.

der vorausgehende Einsatz verarbeitet wird. Die Abhitze des Ofens wird nunmehr, ehe sie zum Dampfkessel gelangt, auch benutzt, das Roheisen zu wärmen; ist der vorausgehende Satz beendet, schiebt man das Roheisen über die Fuchsbrücke des Puddelherdes auf diesen hinüber. Die Abbildungen 329 und 330 zeigen die Einrichtung eines solchen mit Vorwärmherd versehenen Puddelofens.

Man kann rechnen, daß durch Anwendung eines Vorwärmherdes der Brennstoffverbrauch um etwa 15 v. H. sich verringert, während die Erzeugung des Ofens in dem gleichen Verhältnisse zunimmt. Jedenfalls würden dieses Vorteils halber die Vorherde noch häufiger Anwendung gefunden haben, als es tatsächlich der Fall ist, wenn nicht der Übelstand eines stärkeren Abbrandes beim Roheisen damit verknüpft wäre. Während des längeren Glühens oxydiert sich ein verhältnismäßig großer Teil des Eisens und geht

[1]) Näheres über die Anwendung von Unterwind bei Puddelöfen: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 169 und 229.

dann, wenn das Schmelzen im Puddelherde beginnt, in die Schlacke. Nicht alle Roheisensorten sind diesem Vorgange in gleichem Maße unterworfen; weißes, etwas manganhaltiges Roheisen durchschnittlich weniger als graues. Daher erklärt es sich, daß zwar in einzelnen Gegenden die Vorherde Anwendung gefunden, in anderen dagegen sich des hohen Abbrandes wegen als unvorteilhaft erwiesen haben. Im ganzen sind sie nicht mehr häufig zu finden.

Abb. 329 läßt zugleich die Anordnung eines Treppenrostes für Braunkohlenfeuerung erkennen. An der linken Seite des Puddelofens ist der untere Teil des stehenden Dampfkessels sichtbar, welcher durch die abziehenden Gase geheizt wird.

Die Größe der Rostfläche der einfachen Puddelöfen, auf 100 kg Einsatz bezogen, beträgt 0,28 bis 0,32 qm, durchschnittlich 0,30 qm. Meistens schwankt die Größe der Rostfläche des einzelnen Ofens zwischen 0,7 und 0,9 qm.

Die Breite des Rostes (von der Schüröffnung nach der Rückseite des Ofens gemessen) beträgt gewöhnlich 0,9 bis 0,95 m, muß übrigens teilweise auch von der Form des Herdes abhängig sein.

Aus der Rostfläche und der Rostbreite ergibt sich die Länge des Rostes (in der Richtung der Roststäbe).

Die Tiefe des Rostes unter der Oberkante der Feuerbrücke beträgt gewöhnlich 0,35 bis 0,50 m, für grobstückige Brennstoffe und garfrischendes Roheisen mehr, für dichtliegende Brennstoffe und rohfrischendes Eisen weniger.

Die Herdabmessungen müssen teils von der Größe des Einsatzes, teils von der Beschaffenheit des zu verfrischenden Roheisens, teils auch von der Beschaffenheit des Brennstoffs abhängen. Eine große Herdfläche, auf der das Metall in dünner Schicht ausgebreitet ist, erleichtert zwar eine günstigere Ausnutzung der Wärme, erschwert aber das gleichmäßige Durcharbeiten. Puddelöfen für 220 bis 250 kg Einsatz gibt man Herdlängen (im Innern des Legeeisens gemessen) von nicht über 1,8 m bei langflammigen Brennstoffen, häufiger von 1,5 bis 1,7 m, während die Breite des Herdes von der Einsatztür bis nach der Rückwand gemessen gewöhnlich 1,3 bis 1,4 m beträgt, so daß das Verhältnis der größten Breite zur Herdlänge gleich 0,8 ist. Die Länge der Feuerbrücke, welche den Herd auf der einen Seite begrenzt, ist gleich der Breite des Rostes (0,9 bis 0,95 m), die Länge der Fuchsbrücke gewöhnlich 0,4 bis 0,6 m. Die Tiefe des Herdes von der Oberkante des Legeeisens bis zur gußeisernen Herdsohle beträgt 0,25 bis 0,35 m. Mit der Oberkante des Legeeisens liegt die Türschwelle und die Unterkante der Fuchsöffnung in gleicher Ebene; ist also jene Abmessung zu gering bemessen, so treten bei dem heftigen Aufkochen des Eisens während der Kohlenstoffverbrennung leicht größere Schlacken- und Eisenmengen aus diesen Öffnungen aus; eine zu bedeutende Höhe dagegen erschwert die Wärmeabgabe. Setzt man reichliche Schackenmengen zu, oder gibt das Roheisen selbst Gelegenheit zur Bildung reichlicher Schlackenmengen, welche nicht etwa abgelassen werden (z. B. bei Stahlpuddeln), so muß der Herd tiefer sein als im anderen Falle. Den Herden der Stahlpuddelöfen gibt man deshalb mindesten 0,3 m Tiefe.

Die Feuerbrücke wird durch aufgelegte Steine erhöht, damit die flüssigen Massen nicht darüber hinweg auf den Rost gelangen können. Eine Abmessung von 0,15 m hierfür genügt. Es ist auch hierbei zu erwägen, daß die Wärmeabgabe um so ungünstiger ausfällt, je höher die Feuerbrückenoberkante über der Herdsohle liegt[1]). Einen dünneren Stein legt man auch wohl an der Fuchsbrücke auf das Legeeisen, um es vor der Stichflamme zu schützen.

Die Höhe des Gewölbes über der Herdsohle in der Mitte des Ofens beträgt gewöhnlich 0,6 bis 0,7 m. Je tiefer der Herd ist, desto größer muß auch die Abmessung sein, damit für die Einsatztür wie für das Flammenloch die erforderliche Höhe bleibe; daher ist bei Stahlpuddelöfen mit tiefem Herde jene Höhe in der Regel beträchtlicher als bei Puddelöfen mit flachem Herde für sehniges Eisen, und sie steigt bei jenen mitunter bis auf 0,75 m. In der Mitte der Feuerbrücke beträgt der Abstand des Gewölbes über der Feuerbrückenoberkante 0,25 bis 0,35 m.

Die Größe des Fuchsquerschnitts beziffert sich bei den meisten Öfen ungefähr auf 1/8 von der Größe der gesamten Rostfläche. Die Breite des Fuchses ist durch die Länge der den Herd begrenzenden Fuchsbrücke (0,4 bis 0,6 m) gegeben; aus Querschnitt und Breite ergibt sich die Höhe, deren Maß jedoch nicht geringer als 0,20 bis 0,25 m sein sollte, damit nicht Verstopfungen durch Schlacken oder Eisen herbeigeführt werden,

Um die Abhitze der Öfen zur Dampferzeugung benutzen zu können, legt man den Dampfkessel möglichst nahe an den Ofen. Man verwendet stehende oder liegende Dampfkessel. Häufig vereinigt man die Gase zweier Puddelöfen unter einem gemeinschaftlichen Dampfkessel, und wenn man liegender Kessel sich bedient, vereinigt man schließlich die Gase von acht bis zwölf Puddelöfen in einer gemeinschaftlichen Hauptesse (Seite 150 I). Stehende Kessel müssen durch eine Schutzwand im unteren Teile vor der Zerstörung durch die Stichflamme geschützt werden, wie Abb. 329 erkennen läßt[2]).

Doppelpuddelöfen.

Sie sind für Einsätze von 450 bis 600 kg, bisweilen noch etwas darüber, bestimmt.

Da die Länge des Herdes sich nicht erheblich über das bei einfachen Puddelöfen übliche Maß hinaus steigern läßt, weil sonst die Gefahr entstehen würde, daß am Ende des Herdes die Temperatur zu niedrig ausfalle, muß die Breite vergrößert werden, damit die Herdfläche dem größeren Einsatze entspreche. Um aber das Durcharbeiten des Einsatzes auf dem breiteren Herde zu ermöglichen, sind auf beiden Längsseiten einander gegenüber Arbeitstüren angebracht. Diese Anordnung zweier Arbeitstüren wurde

---

[1]) Bei dem oben abgebildeten Ofen ist diese Abmessung etwas reichlich genommen.

[2]) Einige sonstige Regeln für die Einrichtung der Puddelöfen enthält das Buch: H. Fehland, Die Fabrikation des Eisen- und Stahldrahtes. Weimar 1886.

schon oben als kennzeichnendes Merkmal der Doppelpuddelöfen bezeichnet. Die Fuchsbrücke befindet sich bei diesen Öfen ebenmäßig zwischen beiden Längsseiten, da die Veranlassung fehlt, sie, wie bei einfachen Puddelöfen, nach einer Seite zu verlegen.

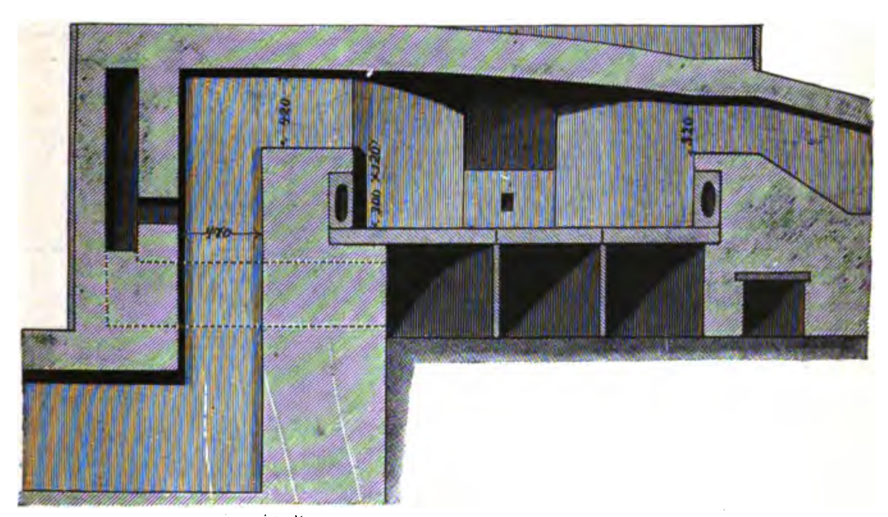


Abb. 331.

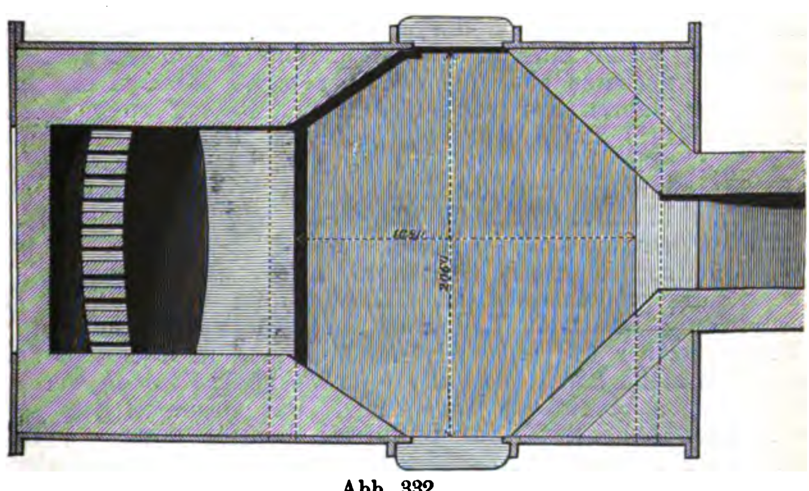


Abb. 332.

Zum Heizen der Doppelpuddelöfen dient, wie erwähnt, Gasfeuerung, welche leichter als Rostfeuerung die Möglichkeit gewährt, auch den breiteren Herd gleichmäßig zu erwärmen. Mitunter kommt die Bicherouxfeuerung (Seite 173 I) zur Anwendung, welche sich der verhältnismäßig großen Breite ihres Gaserzeugers halber besser für Doppel- als für einfache Puddelöfen eignet. Die Ein-

richtung dieser Öfen im allgemeinen, insbesondere die Form des Gaserzeugers und die Art und Weise der Luftzuführung, ist dieselbe wie oben beschrieben wurde; die Form des Herdes eines solchen Doppelpuddelofens ist durch Abb. 331 und 332 auf Seite 205 dargestellt. Die Abhitze läßt sich auch hier noch, wie bei einfachen Puddelöfen mit Rostfeuerung, zur Dampferzeugung benutzen, Auch Boëtiusöfen (Seite 172 I) kommen noch zur Anwendung [1]).

Häufiger als bei einfachen Puddelöfen hat man bei den mit Gas geheizten Doppelpuddelöfen einen zweiten, zum Vorwärmen des Roheisens bestimmten Herd zur Anwendung gebracht. Bei einigen neueren Öfen dieser Art beschränkt man sich aber nicht darauf, das auf dem zweiten Herde befindliche Roheisen, ohne es zu schmelzen, vorzuwärmen, sondern man erhitzt es bis zum Schmelzen, was in den größeren Doppelöfen leichter als in den kleineren einfachen Öfen, deren Flamme rascher abkühlt, zu erreichen ist. Dadurch verringert man den Abbrand, welche das lange Glühen ohne Schmelzung zur Folge hat [2]), und indem man dem Ofen zwei gleiche Herde gibt, welche abwechselnd zum Einschmelzen und Puddeln benutzt werden, erspart man die Arbeit des Hinüberschaffens des Roheisens vom Vorwärmherde auf den Puddelherd. Zu diesem Zwecke ist jedoch eine Einrichtung des Ofens erforderlich, welche es ermöglicht, daß der gerade zum Puddeln dienende Herd, welcher der stärksten Erhitzung bedarf, jedesmal zuerst von der Flamme getroffen wird.

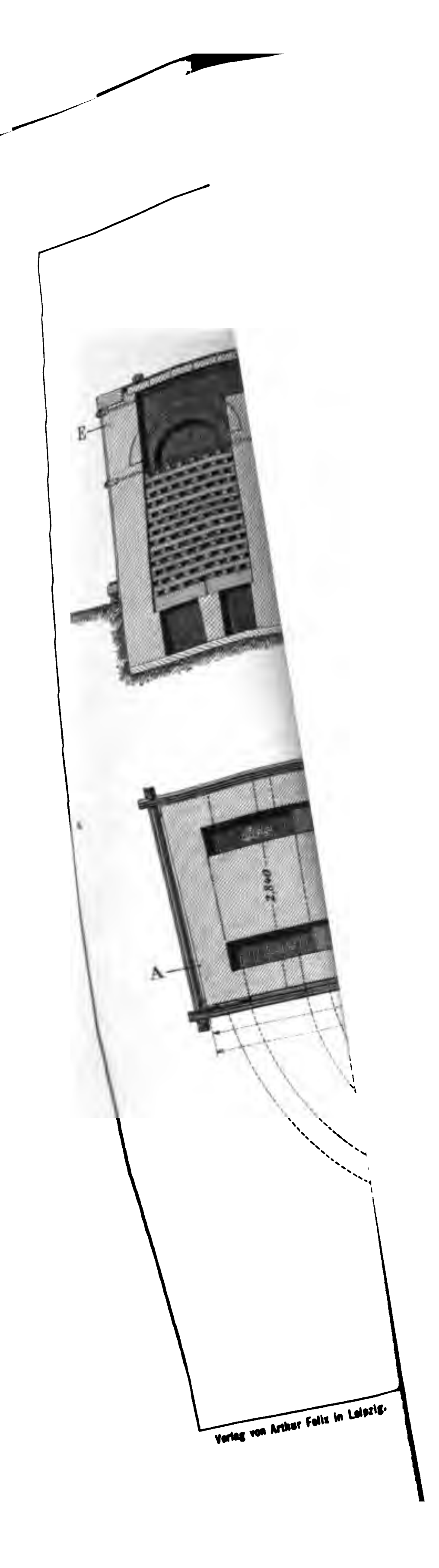
Am einfachsten läßt sich das Ziel erreichen, wenn man Siemensfeuerung anwendet und die Umsteuerung des Flammenstromes regelmäßig beim Einsetzen des Roheisens stattfinden läßt. Nach diesem Grundsatze sind die von Springer erbauten und in den neunziger Jahren des vorigen Jahrhunderts auf ziemlich vielen Eisenwerken [3]) zur Anwendung gelangten Doppelpuddelöfen eingerichtet. Ein solcher Ofen ist in Abb. 333 bis 335 dargestellt. Die Einrichtung der beiden Herde, welche durch ein quer durch den Ofen hindurch gehendes Legeeisen mit Wasserkühlung voneinander getrennt sind, ist leicht verständlich. In Abb. 333 ist die Wasserleitung oberhalb des Ofens erkennbar, welche den drei selbständig voneinander angeordneten und die seitliche Herdbegrenzung bildenden Legeeisen das Kühlwasser zuführt. Die Wärmespeicher des abgebildeten Ofens sind in Rücksicht auf die verhältnismäßig häufig (etwa alle sechs Wochen) notwendig werdenden Reinigungen oberirdisch angeordnet. Das Gasventil liegt seitlich vom Ofen (Abb. 334), das Luftventil dagegen unter der Bodenplatte. Durch diese Anordnung des Luftventils wird unter der

---

[1]) Auf den Hütten von Kychtyme im Gouvernement Perm wurden im Jahre 1895 Boëtius-Puddelöfen für Holzgasfeuerung an Stelle der bis dahin benutzten Siemensöfen eingeführt (Les usines de Kychtyme, Petersburg 1900, Seite 31).

[2]) Über die Abweichungen der chemischen Vorgänge beim Glühen und beim Schmelzen des Roheisens vergl. Seite 296 und 299 I.

[3]) Königin-Marienhütte in Sachsen, Maxhütte in Bayern, Völklingen a. d. Saar, Donawitz in Steiermark u. a. m.



echsel
zum
Maßes
enden
tt als

Form
nlich
a
er.
die
und
der
erde
enen
um
der
und
ecke
dem
gen,
sie
und
mit
nere
be-
ten
ner
in-
und
und
en,
n-
nd-
ch

en

en
en
ch

n,
n,
m
g.
e-

Bodenplatte ein lebhafter, ihre Kühlung befördernder Luftwechsel erzielt, und die Luft selbst wird bereits vorgewärmt, ehe sie zum Wärmespeicher gelangt. Wohl in einiger Überschätzung des Maßes dieser Vorwärmung hat man, im Gegensatze der sonst geltenden Regel, den Wärmespeichern für die Luft kleineren Querschnitt als denen für das Gas gegeben.

Ein anderer Doppelpuddelofen mit zwei Herden, deren Form und Abmessungen denen des abgebildeten Springerofens ähnlich sind, aber mit einfacherer Gasfeuerung, wurde von Piétzka erbaut. Der Gasstrom behält bei diesem Ofen unausgesetzt die gleiche Richtung bei; um trotzdem abwechselnd den einen und den anderen der beiden Herde der höheren Temperatur in der Nähe der Flammenwurzel aussetzen zu können, hat man die Herde nebst ihren seitlichen Begrenzungen und dem von diesen getragenen Gewölbe beweglich gemacht, so daß sie in wagerechter Ebene um 180 Grad gedreht werden können, wenn ein Satz beendet ist, der inzwischen vorgewärmte Einsatz zum Verpuddeln gelangen und ein neuer Roheiseneinsatz gegeben werden soll. Zu diesem Zwecke wird die Herdplatte nebst allen zu bewegenden Teilen von dem Kolben eines darunter stehenden Wasserdruckzylinders getragen; soll die Drehung erfolgen, so hebt man die Teile so weit, daß sie aus dem Anschlusse an das Flammenloch auf der einen Seite und an den Fuchskanal auf der anderen Seite frei werden, worauf mit Haken die Drehung vollführt und der Herd wieder in die frühere Höhenlage gesenkt wird. Die Trennungsfugen zwischen den beweglichen und den festliegenden Teilen haben schräge (nach unten sich nähernde) Lage, so daß das Emporheben ohne Gefahr einer Beschädigung der Teile möglich ist[1]). Der Erfolg dieser Einrichtung ist der gleiche wie beim Springerofen; das Heben und Wenden des Herdes aber erheischt einen größeren Arbeitsaufwand als die Umsteuerung der Flammenrichtung bei den Siemensfeuerungen, und wo nicht etwa ohnehin Druckwasser für das erforderliche Anheben zur Verfügung steht, gestaltet sich die Einrichtung umständlicher als die Anlage von Öfen mit Siemensfeuerungen nach Springers Entwurfe.

c) Das Arbeitsverfahren.

Das Handpuddeln.

Die Arbeit beginnt mit dem Einsetzen des Roheisen in den bereits erhitzten Ofen.

Mehrfach hat man vorgeschlagen, das Roheisen in besonderen Öfen, insbesondere Kupolöfen, zu schmelzen, um den Puddelofen besser auszunutzen und an Brennstoff zu sparen[2]), oder auch

---

[1]) Abbildungen des Piétzka-Puddelofens: Ledebur, Gasfeuerungen, Fig. 57 und 58 (Seite 106); Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 22, Seite 169; „Stahl und Eisen“ 1889, Tafel 15. Der Ofen ist auf dem mährischen Eisenwerke Witkowitz und einigen anderen Werken in Benutzung.

[2]) Eine Brennstoffersparung würde insofern möglich sein, als die Wärmeausnutzung im Kupolofen günstiger ist als in jedem Flammofen.

unmittelbar aus dem Hochofen das flüssige Roheisen zu entnehmen [1]. Das Verfahren hat jedoch nur vereinzelte Anwendung gefunden. Während des Einschmelzens werden im Puddelofen selbst schon chemische Veränderungen des Roheisens herbeigeführt, durch welche das spätere Verfahren abgekürzt wird. Die Ersparung an Zeit bei Anwendung geschmolzenen Roheisens ist mithin nicht so beträchtlich, als man im ersten Augenblicke anzunehmen geneigt sein dürfte, und einige Schwierigkeit verursacht die Aufgabe, den Gang beider Öfen so in Einklang zu bringen, daß stets gerade im richtigen Augenblicke die erforderliche Menge geschmolzenen Roheisens verfügbar ist. Besser hat sich die besprochene Vorwärmung in Doppelpuddelöfen bewährt.

Die Gesichtspunkte, welche für die Wahl der Roheisensorten in Betracht kommen, sind verschieden. Je gleichartiger, schlackenärmer das darzustellende schmiedbare Eisen und je höher sein Kohlenstoffgehalt sein soll, desto weniger rasch darf die Entkohlung verlaufen. Mit der Zeitdauer des Verfahrens aber wachsen der Brennstoffaufwand, der Abbrand und die Löhne. Gewöhnlich mengt man mehrere Roheisensorten; den Grundbestandteil der Beschickung pflegt ein weißes, mehr oder minder manganhaltiges Roheisen zu bilden. Für Darstellung von Feinkorneisen [2] oder Stahl ist die Anwendung eines manganhaltigen Roheisens unerläßlich; der schon bei Besprechung des Frischfeuerbetriebes erwähnte Zweck des Mangans hierbei ist die Verzögerung der Entkohlung und Bildung einer dünnflüssigen, leicht zwischen den Eisenkristallen ausfließenden Schlacke. Die manganreichen Sorten Weißstrahls oder das Spiegeleisen sind für diesen Zweck unentbehrlich, sei es für sich, sei es als Zusatz zu manganärmerem Roheisen. Wenig vorteilhaft ist im allgemeinen die Anwendung eines siliciumreichen, also tiefgrauen Roheisens. Der Siliciumgehalt verzögert die Entkohlung, teils an und für sich, indem er vor dem Kohlenstoff verbrennt, teils durch Bildung einer weniger basischen Schlacke, und sein Einfluß unterscheidet sich in letzterer Beziehung wesentlich von dem des Mangangehalts. Wo man durch örtliche Verhältnisse gezwungen ist, siliciumreiches Roheisen zu verpuddeln, setzt man ihm gern Weißeisen zu. Halbiertes Eisen dagegen mit einem Siliciumgehalte bis 1 v. H. benutzt man, zumal wenn es etwas manganhaltig ist, ziemlich häufig.

Da eine Phosphorabscheidung im Puddelofen zwar möglich ist, das Erzeugnis aber immerhin von dem ursprünglichen Phosphorgehalte um so reichlichere Mengen zurückhält, je höher dieser war, ist die Anwendnng eines phosphorarmen Roheisens notwendig, wenn das erfolgende schmiedbare Eisen frei von Kaltbruch sein soll. Insbesondere können für Feinkorneisen- und Stahldarstellung nur phosphorarme Roheisensorten Verwendung finden, während man

---

[1] Vergl. Literatur.

[2] Feinkorneisen ist die zwischen eigentlichem Stahle und dem kohlenstoffarmen sehnigen Eisen stehende Eisensorte mit etwa 0,3 v. H. Kohle, ausgezeichnet durch hohe Festigkeit und geringeren Schlackengehalt als das sehnige Eisen.

für gewöhnliches billiges Eisen Roheisen mit 1 v. H. Phosphor, mitunter auch noch etwas darüber, benutzt.

Die Höhe des jedesmaligen Einsatzes beträgt beim Arbeiten in einfachen Öfen, wie schon erwähnt wurde, 220 bis 275 kg, in Doppelpuddelöfen mit Gasfeuerung 450 bis 600 kg, mitunter noch etwas mehr. Auch beim Stahlpuddeln in einfachen Öfen setzt man selten weniger ein als 220 kg.

Das Roheisen wird auf einer breiten Schaufel durch die Einsatztür in den Ofen geschoben und hier in der Mitte des Herdes in solcher Weise ausgebreitet, daß es der Flamme möglichst preisgegeben ist. Gewöhnlich ist noch von der Verarbeitung des vorausgegangenen Einsatzes Schlacke im Herde zurückgeblieben; häufig setzt man auch schon beim Einschmelzen des Roheisens Garschlacke oder Hammerschlag zu; in anderen Fällen gibt man den Zusatz erst, wenn das Schmelzen beendet ist. Örtliche Gewohnheiten und die Beschaffenheit des zu verarbeitenden Roheisens sind hierfür maßgebend. Es kommt hierbei in Betracht, daß durch den Schlackenzusatz der Ofen abgekühlt wird. Nun bedarf graues Roheisen einer höheren Temperatur zum Schmelzen als weißes (Seite 6, II), und eine Abkühlung des Ofens im Beginne der Arbeit durch Einsetzen von Schlacke würde deshalb bei der Verarbeitung von Graueisen das Einschmelzen verzögern. Ist dieses Eisen aber geschmolzen, so wird seine Temperatur durch die Verbrennung seines Siliciumgehalts in einem Maße gesteigert, daß zur erfolgreichen Durchführung des Puddelns Abkühlung notwendig ist[1]). In diesem Falle gibt man demnach den Schlackenzusatz erst, wenn das Einschmelzen beendet ist. Dagegen setzt man bei Verarbeitung siliciumarmen Weißeisens, welches ohnehin rascher einschmilzt, die Schlacke gewöhnlich schon vor dem Roheisen ein.

Auch die Menge der zugesetzten Schlacke ist verschieden und sowohl von der Zusammensetzung des Einsatzes als der Beschaffenheit, welche das Erzeugnis erhalten soll, abhängig. Beim Sehnepuddeln aus weißem, phosphorarmem Roheisen reicht mitunter die im Herde zurückbleibende Schlacke des vorigen Einsatzes allein aus, und nur von Zeit zu Zeit, d. h. nach Verarbeitung mehrerer Einsätze, läßt man sie ab, um sie durch frische, phosphorarme Schlacke (Schweißofenschlacke, Hammerschlag) zu ersetzen; verarbeitet man aber phosphorreiches Roheisen, so würde, wenn man die nämliche Schlacke wieder anwenden wollte, diese immer phosphorreicher und infolge davon die Abscheidung des Phosphors aus dem Roheisen immer spärlicher werden. Man läßt also in diesem Falle die phosphorsäurereiche Schlacke ab und setzt Hammerschlag, Schweißofenschlacke oder Eisenerze dafür ein. Der Zusatz pflegt alsdann 25 bis 50 v. H. des Roheisengewichts zu betragen.

Wenn das Einsetzen beendet ist, schließt man die Einsatztür, stellt vor die Arbeitstür eine Blechplatte mit einem kleinen Schauloche, durch welches man die Vorgänge auf dem Herde beobachten kann, auf die Türschwelle aber legt man neben die Fugen der Tür einige Kohlen, welche sich rasch erhitzen und langsam ver-

[1]) Über die Verbrennungswärme des Siliciums vergl. Seite 59 I.

brennen, dadurch das Einströmen freien Sauerstoffs in den Ofen verhindernd.

Einstweilen überläßt man nun das Roheisen ohne weiteres der Erhitzung. Beginnt es zu schmelzen, was in einfachen Öfen ohne Vorwärmung meistens nach 20 bis 25 Minuten der Fall ist, so wird es „aufgestochen", d. h. mit einer eisernen Brechstange gewendet, so daß die untere, weniger stark erhitzte Seite nach oben zu liegen kommt, wobei man Stücke, die etwa am Boden festsitzen, losbricht und überhaupt dafür sorgt, daß nicht ungeschmolzene Stücke unter der Schlacke zurückbleiben. Im ganzen beansprucht das Einschmelzen eine Zeit von 35 bis 40 Minuten, sofern das Roheisen kalt auf den Herd gebracht wurde.

Verarbeitet man weißes manganarmes Eisen, so zeigen sich schon beim Einschmelzen die ersten Spuren der beginnenden Kohlenstoffverbrennung. An der Oberfläche der flüssigen Schlacke, welche das Eisen bedeckt hält, erscheinen Gasbläschen, und das entwickelte Gas verbrennt mit blauer Flamme. Bei grauem Roheisen ist dieser Vorgang weniger oder gar nicht bemerkbar; die Oxydation wirft sich auf den Siliciumgehalt, und der Kohlenstoffgehalt bleibt geschützt.

Es folgt nun die Arbeit des Rührens mit dem „Rührhaken" oder der „Kratze", einer eisernen, vorn hakenartig umgebogenen Stange von 2,5 bis 3 m Länge. Der Arbeiter schiebt sie durch die Arbeitsöffnung in den Ofen, sie an der Fuchsbrücke einsetzend, so daß der Haken den Boden berührt, und bewegt sie nun abwechselnd vor- und rückwärts durch das Eisenbad, radiale Furchen ziehend, deren eine dicht neben der anderen liegt, bis er mit dem Haken an der entgegengesetzten Seite des Ofens, der Feuerbrücke, angekommen ist. Alsdann nimmt er denselben Weg rückwärts unter steter Vor- und Rückwärtsbewegung des Hakens usf. Ist der Haken nach einigen Minuten des Rührens hellrotglühend geworden, so wird er gegen einen frischen, den ein zweiter Arbeiter führt, umgetauscht.

Alsbald zeigt sich die Folge der durch das Rühren bewirkten Mischung des Eisens mit der eisenoxydreichen Schlacke. Die Kohlenoxydgasbildung wird stärker, das Bad gerät allmählich in eine kochende Bewegung, die sogenannte Kochperiode des Puddelverfahrens beginnt. Eine allzu hohe Temperatur in diesem Zeitabschnitte würde die Entkohlung verzögern, da sie die Entmischung der beiden aufeinander wirkenden Körper, des Eisens und der Schlacke, durch größere Dünnflüssigkeit befördert; man schließt also die Essenklappe oder sucht in sonstiger Weise die Temperatur zu ermäßigen.

Die Schmelztemperatur des Eisens aber wird höher, je mehr sein Kohlenstoffgehalt abnimmt, und bald zeigen sich daher Eisenkörnchen, welche schaumartig auf der flüssigen Masse schwimmen. Immer stärker wird die Kohlenoxydgasbildung, immer dickflüssiger das Eisen, und das Bad steigt bis zur Höhe der Türschwelle, wobei gewöhnlich ein Teil der Schlacke über die Schwelle abfließt. Die Kochperiode hat jetzt ihren Höhepunkt erreicht; seit dem Beginne des Rührens sind etwa 15 Minuten bei garfrischendem Roheisen, 20 bis 30 Minuten bei rohfrischendem verflossen.

Dieser Zustand währt mehrere Minuten. Alsdann verrät die veränderte Beschaffenheit des Eisens und der Schlacken deutlich die fortgeschrittene Entkohlung. Mehr und mehr Eisenkörner erscheinen an der Oberfläche; die Arbeit des Rührens wird immer schwieriger, da immer größere Mengen des entstandenen schmiedbaren, nicht mehr flüssigen Eisens sich der Bewegung des Hakens entgegensetzen. Die Temperatur im Ofen wird gesteigert, um eine vorzeitige Erstarrung des Eisens zu hintertreiben. Die Gasbildung läßt nach, die Schlacke sinkt, und bald sieht man größere Gruppen zusammengeschweißter Eisenkörner daraus hervorragen.

Die Kochperiode hat nunmehr ihr Ende erreicht; das Rühren mit dem Haken ist nicht mehr möglich und würde auch keinen Zweck haben. Soll Stahl erzeugt werden, so kommt es jetzt darauf an, das Eisen möglichst gleichmäßig auszubreiten und von der Schlacke bedeckt zu halten, damit nicht der Gasstrom auf die herausragenden Teile oxydierend einwirke; arbeitet man auf sehniges Eisen, so folgt das Garfrischen, während welcher unter der Einwirkung der Gase wie der Schlacke eine fortgesetzte Entkohlung stattfindet.

Zunächst ist es zur Erlangung eines gleichmäßig entkohlten Eisens notwendig, zu verhüten, daß einzelne Teile stärker, andere weniger stark von der Oxydationswirkung betroffen werden. Mit Hilfe einer Brechstange (der Spitze) und der schon benutzten Kratzen arbeitet man also unausgesetzt die Eisenhaufen um, so daß das unter der Schlacke befindliche Eisen zu oberst, die oberen Teile nach unten kommen, zerteilt größere Anhäufungen, damit nicht die inneren Teile roh, d. h. kohlenstoffreich, bleiben, kratzt das in den Ecken befindliche Eisen los und bringt es in die Mitte. Während dieses Durcharbeitens aber teilt man das Eisen schon in einzelne Haufen, deren jeder das ungefähre Gewicht einer Luppe erhält, und schiebt schließlich diese noch locker aufeinander liegenden Haufen nach der Fuchsbrücke hinüber. Diese Arbeit heißt Umsetzen. Gewöhnlich verarbeitet man den ganzen Einsatz eines einfachen Ofens zu fünf bis sechs Luppen, eines Doppelofens zu entsprechend mehr.

Arbeitet man auf Stahl, so verläuft die Arbeit des Umsetzens rascher, und das Eisen (der Stahl) wird von der Schlacke bedeckt gehalten.

Nun folgt das Luppenmachen. Mit der Brechstange drückt man die einzelnen Haufen zusammen, so daß die Eisenkörnchen zusammenschweißen und möglichst viel Schlacke herausfließt, formt sie, so gut es gehen will, zu Kugeln und rollt diese auf der Herdsohle hin und her, um die hier noch zerstreut liegenden Eisenkörnchen anzuschweißen. Ist eine Luppe in dieser Weise geformt, so rollt man sie hinüber zur Feuerbrücke und setzt sie hier, während man mit der Formung einer neuen beginnt, einer starken Hitze aus, um das Ausfließen der Schlacke zu befördern.

Ist alles Eisen in dieser Weise verarbeitet, so schließt man auf kurze Zeit die Arbeitstür durch ein vorgesetztes Blech, um möglichst hohe Temperatur im Ofen zu erlangen, welche das spätere Ausquetschen der Schlacke erleichtert; dann beginnt das Zängen.

Ein aus Eisenstäben hergestellter zweirädriger Karren wird bis vor die Türschwelle geschoben, die Einsatztür wird geöffnet, und mit einer Zange wird die zuerst gefertigte Luppe herausgeholt, um dann rasch nach der Zängevorrichtung (Hammer, Presse) gefahren zu werden. Hier packt sie der bereit stehende Arbeiter und formt sie allmählich zu einem prismatisch vierseitigen Blocke mit abgestumpften Kanten. Im Anfange des Zängens gibt man nur schwache Schläge oder schwachen Druck, um einer Zertrümmerung vorzubeugen; reichliche Schlackenmengen fließen aus, und das Eisen schweißt mehr und mehr zusammen. Schließlich läßt man den vollen Druck oder den vollen Schlag des Hammers auf den Block wirken.

Das Verhalten der Luppe beim Zängen gibt schon ein Merkmal für die Beschaffenheit. Ein gleichmäßig entkohltes Eisen schweißt mit Leichtigkeit zusammen. Zeigen sich an einzelnen Stellen blaue Flämmchen, so deutet diese Erscheinung auf noch rohe Stellen; das Eisen schweißt hier schlecht, und die Luppe erfordert bei der Behandlung größere Vorsicht; sehr rohe Luppen fallen mitunter in Stücken auseinander und müssen aufs neue in den Ofen zurückgebracht werden, obgleich auch hierdurch eine gründliche Verbesserung nicht mehr zu erreichen ist.

Während des Zängens der ersten Luppe wird die zweite herbeigeholt usf. Inzwischen aber ist das in der Nähe der Zängevorrichtung aufgestellte Luppen- oder Rohschienenwalzwerk angelassen, die Arbeiter zu dessen Bedienung haben ihre Plätze eingenommen, und die noch glühende Luppe wird rasch zum Walzwerk hingeschleift, um hier sofort zu Rohschienen ausgewalzt zu werden.

Die Einrichtung eines Luppenwalzwerkes ist aus Abb. 270 auf Seite 124 III ersichtlich. Statt des Zweiwalzwerkes sind in den letzten Jahrzehnten gewöhnlich Dreiwalzwerke zur Anwendung gebracht worden. Es pflegt zwei Walzgerüste zu enthalten, das eine zum Vorwalzen in Spitzbogenkalibern, das andere mit geschlossenen Flachkalibern. Zur Bedienung sind vier bis fünf Mann erforderlich.

Das Zängen und Rohschienenwalzen geht nun ununterbrochen fort, bis alle Luppen aus dem Ofen herausgeholt und in Rohschienen umgewandelt sind. Die letzteren, gewöhnlich Flacheisenstäbe, werden, sobald sie die Walzen verlassen haben, auf eine gußeiserne Richtplatte gezogen, hier mit hölzernen Hämmern gerichtet und der Erkaltung überlassen. Sie haben ein rissiges, unganzes Äußere, sind reichlich von Schlacke durchsetzt und bilden ein Zwischenerzeugnis für die weitere Verarbeitung, gewöhnlich durch Schweißen und Auswalzen, zu Handelsware (vgl. unten: Verarbeitung des Schweißeisens), selten durch Schmelzen zu Flußeisen. Zunächst jedoch werden sie gewogen, dann gewöhnlich unter einer Presse durchgebrochen, so daß die Bruchfläche erkennbar wird, und dem Aussehen dieser Bruchfläche zufolge (ob sehnig, feinkörnig, grobkörnig oder ungleichartig) gesondert.

Wenn der Puddelofen entleert ist, wird der Herd nachgesehen und nötigenfalls ausgebessert, der Rost gereinigt und zu einem neuen Einsatze geschritten.

Das Maschinenpuddeln.

Mehrfach sind Einrichtungen zur Anwendung gekommen, welche den Zweck hatten, die mühselige Handarbeit beim Puddeln ganz oder teilweise durch Maschinenarbeit zu ersetzen.

Der erste, welcher diesen Gedanken verwirklichte, war Professor Schafhäutl in München. Er baute im Jahre 1836 eine Puddel-

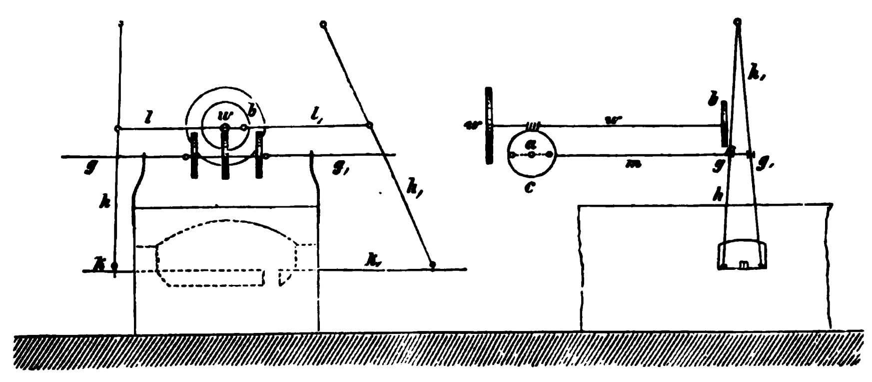


Abb. 336. Abb. 337.

maschine, welche nicht allein die Arbeit des Rührens besorgen, sondern auch bei dem späteren Umsetzen mitwirken sollte, und brachte sie auf einem englischen Eisenwerke zur Anwendung [1]). Die Maschine erforderte eine eigene Dampfmaschine und einen Ofen mit großem Fassungsraume; ihre Anlage war kostspielig, und die gehegten Erwartungen wurden nicht erfüllt.

Eine ziemlich große Zahl später gebauter Puddelmaschinen hat dagegen nur die Bestimmung, das immerhin beschwerliche Rühren mit der Kratze auszuführen, während die folgenden Arbeiten von Hand geschehen; die meisten dieser Maschinen werden, statt durch eine eigene Dampfmaschine, von einer für mehrere Öfen gemeinschaftlichen Triebwelle aus bewegt. Dadurch wird ihre Anordnung einfacher, billiger und für die Benutzung geeigneter.

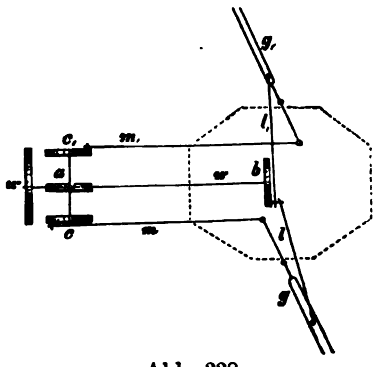


Abb. 338.

Zur besseren Ausnutzung der Maschinen bringt man sie für Doppelpuddelöfen (mit etwa 500 kg Einsatz) in Anwendung, in welchen dann von beiden Seiten her wie beim Handpuddeln gerührt wird. Die Einrichtung der Öfen zeigt keine erhebliche Abweichung gegenüber der Einrichtung beim Handpuddeln.

---

1) Bayrisches Kunst- und Gewerbeblatt 1867, Seite 132; Dinglers polyt. Journal, Band 185, Seite 242.

Als ein Beispiel, in welcher Weise die Aufgabe gelöst werden kann, möge die Beschreibung einer von **Dumény** und **Lemut** gebauten Puddelmaschine hier Platz finden, welche auf einigen französischen und lothringischen Werken in Anwendung war und hier oder da vielleicht noch jetzt benutzt wird. Die Skizzen Abb. 336 bis 338 können als Erläuterung dabei dienen.

k und k_1 sind die beiden Rührhaken, welche, wie gewöhnlich, durch die Arbeitstür hindurchgehen und mit den hinteren Enden aus dem Ofen herausragen. Mit Hilfe je eines leicht lösbaren Kugelgelenkes sind sie an de nStangen $h\,h_1$ befestigt, welche mit ihren oberen Enden an dem Gebälk aufgehängt sind, so daß sie leicht in jeder Richtung schwingen können. In einer gewissen Höhe sind diese Stangen an die Schubstangen $l\,l_1$ angeschlossen, deren gegenüberliegende Enden mit der Warze der Kurbelscheibe b verbunden sind und somit eine hin- und hergehende Bewegung auf die Stangen $h\,h_1$ wie auf die beiden Rührhaken übertragen. Die Kurbelscheibe b empfängt ihre Bewegung durch die Welle w von einer auf deren Ende befindlichen Riemenscheibe aus. Zur Lösung der Aufgabe nun, daß die beiden Rührhaken außer der Vor- und Rückwärtsbewegung auch eine allmähliche Seitenbewegung ausführen und somit nach und nach, wie bei der Handarbeit, den ganzen Herd bearbeiten, ist folgende Einrichtung getroffen.

Von der Welle w aus wird vermittelst einer Schnecke das Schneckenrad a in langsame Drehung versetzt, und durch die Welle dieses Schneckenrades wird diese Drehung auf die zwei Kurbelscheiben $c\,c_1$ übertragen. Von hier aus werden durch Vermittelung der beiden Lenkstangen $m\,m_1$ die doppelarmigen Hebel $g\,g_1$ hin und her bewegt, welche mit ihren gegabelten Enden die senkrechten Stangen $h\,h_1$, an welchen die Rührstangen befestigt sind, umfassen und somit auch jenen eine sehr langsam hin- und hergehende Bewegung (rechtwinklig gegen die Hauptbewegung der Rührhaken) erteilen. Da nun die Rührhaken innerhalb der schmalen Arbeitstüren geführt sind, hier also ihren Drehungspunkt haben, wenn ihre Enden bewegt werden, müssen sie jede neue Vor- und Rückwärtsbewegung in etwas anderer Richtung als die vorausgegangene ausführen; sie müssen, mit anderen Worten, ebenso wie bei der Handarbeit radiale Furchen durch das Metallbad ziehen, deren jede neben der vorausgegangenen liegt.

Damit diese Seitenbewegung möglich sei, müssen die Schubstangen $l\,l_1$ in solcher Weise an die Kurbelwalze der Scheibe b (Abb. 338) angeschlossen sein, daß auch sie in wagerechter Ebene die erforderliche Beweglichkeit besitzen [1]).

Erfahrungsgemäß liegt der Hauptvorteil bei Anwendung von Puddelmaschinen weniger in einer Ersparung an Arbeitslöhnen als vielmehr in einer Erleichterung der beschwerlichen Arbeit des Puddelns, wodurch es den Eisenwerken leichter gemacht ist, die genügende Arbeiterzahl für einen ausgedehnten Betrieb zu gewinnen.

---

[1]) Abbildungen einer ähnlichen Puddelmaschine, welche noch im Jahre 1898 in Creusot benutzt wurde, enthält Engineering Band 65, Seite 653. Hinsichtlich sonstiger Puddelmaschinen vergl. Literatur.

Im ganzen ist ihre Anwendung vereinzelt geblieben; nicht selten sind sie wieder beseitigt worden, wo sie zuvor eingeführt worden waren. Ihre Anlage- und Unterhaltungskosten entsprachen nicht dem erzielten Nutzen.

Daß auch die Anwendung von Drehöfen zu dem gleichen Zwecke keinen bleibenden Erfolg gehabt habe, wurde auf Seite 197 III erwähnt.

Zuschläge beim Puddeln.

Daß man als Verbrennungsmittel für die auszuscheidenden Fremdkörper eisenoxydhaltige Schlacken oder Hammerschlag, in selteneren Fällen auch Erze dem Roheisen beifüge, wurde oben erwähnt. Bisweilen hat man jedoch gehofft, durch Zusatz noch anderer Körper entweder das Frischen beschleunigen oder die Abscheidung schädlicher Fremdkörper, insbesondere des Schwefels und Phosphors, befördern zu können. Viele der zu diesem Zwecke gemachten Vorschläge verraten indessen eine solche Unkenntnis der chemischen Vorgänge beim Puddeln, daß es verwunderlich ist, wie man ihnen überhaupt Beachtung schenken konnte.

Den einzigen wirklichen, wenn auch stets nur beschränkten Erfolg haben solche Zusätze gehabt, welche die Bildung stark basischer und trotzdem ausreichend dünnflüssiger Schlacken ermöglichten [1]). Als besonders wirksam in dieser Beziehung hat sich Flußspat erwiesen (Seite 217 I). Auch Chloride der Alkalien sind bisweilen angewendet worden. In der Jetztzeit, wo man für phosphorreiche Roheisensorten eine günstigere Verwendung bei der Flußeisendarstellung gewonnen hat (Thomasverfahren), zieht man es jedoch vor, für das Puddeln ein entsprechend phosphor- und schwefelarmes Roheisen zu benutzen und von dem Zusatze anderer Körper als der genannten eisenoxydhaltigen Schlacken abzusehen.

d) Der chemische Verlauf des Puddelns.

Die Vorgänge im Puddelofen sind den früher geschilderten Vorgängen im Frischfeuer ähnlich. Als Verbrennungsmittel dient vornehmlich der Eisenoxydgehalt der zugesetzten Schlacke, und daher ist deren stetig erneuerte Mischung mit dem Roheisen durch Rühren erforderlich, damit sie mit den abzuscheidenden Körpern in innige Berührung gelange. Wollte man die Verbrennung unmittelbar durch den Gasstrom bewirken lassen, so würde sie nur langsam und unter reichlichem Abbrande von Eisen sich vollziehen, da die Berührung nur an der Oberfläche stattfindet und die abzuscheidenden Körper sich in starker Verdünnung im flüssigen Eisen befinden. Dagegen bewirkt die Berührung des sauerstoffreichen Gasstromes [2]) mit den an die Oberfläche steigenden Schlacken eine

---

[1]) Eine strengflüssige Schlacke würde zu der Entstehung faulbrüchigen Eisens Veranlassung geben (Seite 10 III).

[2]) Fischer fand in den Gasen der Puddelöfen 11 bis 16 v. H. Kohlendioxyd, 2,5 bis 12 v. H. freien Sauerstoff, etwa 80 v. H. Stickstoff. Der Wasserdampfgehalt wurde nicht bestimmt. Dinglers polyt. Journal, Band 238, Seite 420.

stetige Erneuerung ihres Eisenoxydgehalts, wenn dieser durch Sauerstoffabgabe an die zu verbrennenden Körper sich verringert hat.

Daß durch Anwendung der eisernen Herdeinfassung und durch Ausfutterung des Herdes mit eisenoxydreichen Körpern die Bildung einer dem Zwecke des Puddelofens entsprechend zusammengesetzten Schlacke befördert werde, ist oben erwähnt worden. Allzu basische Schlacken können jedoch zur Entstehung eines faulbrüchigen Eisens Veranlassung geben (Seite 10 III), und aus diesem Grunde ist ein mäßiger Siliciumgehalt des Roheisens nicht unerwünscht.

Von der ursprünglichen Zusammensetzung des Roheisens, von der Menge und Zusammensetzung der zugesetzten Schlacke, von der Temperatur im Ofen hängt der Verlauf des Frischens in jedem einzelnen Falle ab. Zahlreichere Untersuchungen als beim Frischfeuerbetriebe sind hierüber angestellt worden. Einige Beispiele mögen zur näheren Beleuchtung jener Einflüsse dienen.

1. Darstellung von gewöhnlichem, kohlenstoffarmem Schweißeisen aus halbiertem, mäßig garfrischendem Roheisen auf einem englischen Eisenwerke. Puddelofen mit Unterwind. Der Herd wurde vor dem Einsetzen des Roheisens mit etwa 50 kg Hammerschlag besetzt, worauf alsdann das Roheisen (200 kg) eingebracht wurde. Analysen von H. Louis[1]).

	C	Si	Mn	P
Roheisen vor dem Einschmelzen	nicht untersucht			
Nach Beendigung des Einschmelzens; 40 Minuten nach dem Einsetzen	2,86	1,11	0,78	0,36
Während des Kochens; 48 Minuten nach dem Einsetzen	1,89	0,14	n. best.	0,25
Während der Höhe der Kochperiode; 53 Minuten nach dem Einsetzen	1,75	0,00	0,09	0,26
Beim Nachlassen des Kochens; beginnende Ausscheidung der Eisenkörper; 58 Minuten nach dem Einsetzen	1,57	0,00	n. best.	0,23
Beim Beginn des Umsetzens; 62 Minuten nach dem Einsetzen	1,10	0,00	"	0,23
Beim Beginn des Luppenmachens; 78 Minuten nach dem Einsetzen	0,25	0,00	"	0,25
Rohschiene	0,16	0,00	0,09	0,09

Die Analysen zeigen eine rasche Abnahme des Siliciums, eine allmähliche und ziemlich gleichmäßige Abnahme des Kohlenstoffs, während Phosphor vorzugsweise im Anfange und dann während des Luppenmachens austritt. Es läßt sich jedoch annehmen, daß hier — wie bei allen ähnlichen Untersuchungen — der in den vorletzten Proben gefundene Phosphor zum Teile von der eingemengten Schlacke herrührt; daß diese Schlackenmenge nicht gering war, ergibt sich aus der Menge der zugleich in den Proben gefundenen Kieselsäure, welche z. B. in der beim Beginne des Umsetzens genommenen Probe 1,37 v. H. betrug.

---

1) The Journal of the Iron and Steel Institute 1879 I, Seite 219.

Eine Darstellung des Verlaufes dieser Umwandlungen in Schaulinien, wobei auch die mutmaßliche Zusammensetzung des Roheisens eingefügt ist, zeigt Abb. 339.

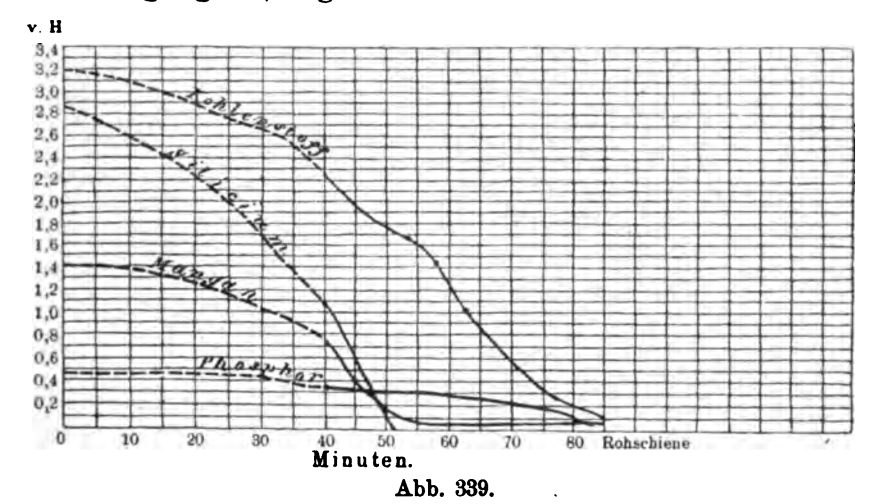


Abb. 339.

2. Darstellung von Feinkorneisen aus silicium- und manganreichem, rohfrischendem Roheisen in einem gewöhnlichen Steinkohlenpuddelofen auf einem oberschlesischen Eisenwerke. Schlackenzusatz wurde erst nach dem Einschmelzen des Roheisens gegeben. Analysen von J. Kollmann[1]).

	C	Si	Mn	S	P
Roheisen vor dem Schmelzen	2,57	3,21	5,14	0,040	0,97
Nach Beendigung des Einschmelzens; 43 Min. nach dem Einsetzen	2,80	1,09	2,68	0,016	0,58
Beim Beginn des Kochens; 52 Minuten nach dem Einsetzen	2,89	0,23	2,53	0,018	0,56
Während des Kochens; 55 Minuten nach dem Einsetzen	2,78	0,21	2,20	0,012	0,30
Beim Beginn des Umsetzens während heftigen Kochens; 62 Minuten nach dem Einsetzen	2,63	0,22	1,31	0,012	0,25
Während des Umsetzens; 91 Minuten nach dem Einsetzen	1,65	0,23	0,65	0,012	0,21
Beim Beginn des Luppenmachens; 96 Min. nach dem Einsetzen	1,38	0,21	0,32	0,011	0,18
Luppe; 109 Minuten nach dem Einsetzen .	0,86	0,11	0,28	0,010	0,17
Rohschiene	0,63	0,09	0,15	0,009	0,12

Die Analysenreihe ist kennzeichnend für den Verlauf des Verfahrens bei Bearbeitung von stark rohfrischendem Roheisen. Silicium und Mangan treten rasch aus, auch ein Teil des Eisens verbrennt unter Berührung mit dem Gasstrome, die Gesamtmenge des Eisens

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1874, Seite 326.

nimmt infolge davon ab, und der Gehalt an Kohlenstoff wächst, bis schließlich auch dessen Verbrennung beginnt.

Abb. 340 zeigt die Schaulinien des Verlaufes.

3. Darstellung von Stahl aus einem silicium- und manganhaltigen, mäßig rohfrischenden Roheisen in einem (jetzt nicht mehr vorhandenen) Holzgaspuddelofen auf dem Eisenwerke zu Zorge. Analysen von A. Schilling[1]):

	C	Si	Mn	S	P
Roheisen	2,92	1,24	1,66	0,098	0,47
Nach dem Einschmelzen; 47 Minuten nach dem Einsetzen	2,49	0,34	0,47	0,030	0,24
Bei Beginn des Kochens; 66 Minuten nach dem Einsetzen	2,36	0,16	0,47	0,027	0,17
Während des Kochens; 80½ Minute nach dem Einsetzen	2,26	0,11	0,47	0,012	0,11
Während der Höhe der Kochperiode; 98 Min. nach dem Einsetzen	1,77	0,11	0,31	Spur	0,08
Während des Umsetzens; 113 Minuten nach dem Einsetzen	1,33	0,11	0,31	„	0,07
Während des Luppenmachens; 122 Minuten nach dem Einsetzen	1,06	0,11	0,27	„	0,07
Luppe	0,94	0,11	0,27	„	0,07

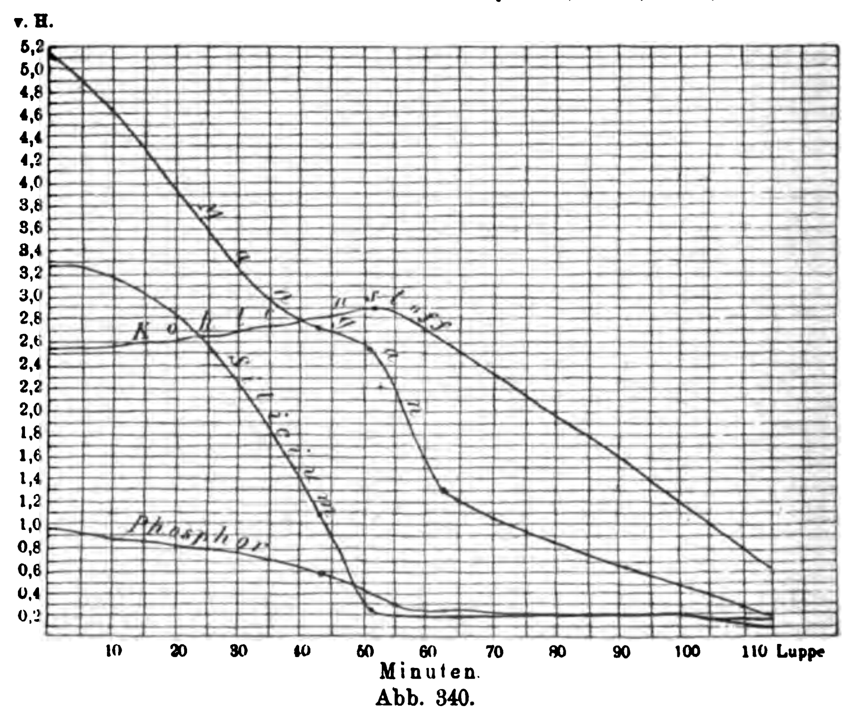


Abb. 340.

[1]) Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, Seite 313.

Das hier verwendete Roheisen war nicht so silicium- und manganreich als das des vorigen Beispieles, die Temperatur im Gaspuddelofen mutmaßlich höher als in jenem Ofen mit Rostfeuerung; daher verbrennt hier schon Kohlenstoff beim Einschmelzen neben Mangan und Silicium. Abb. 341 auf folgender Seite zeigt den Verlauf des Frischens in diesem Falle.

Die Untersuchung der miterfolgenden Schlacken in den hier besprochenen Fällen ergab nachstehende Zusammensetzung.

1. Eisendarstellung auf einem englischen Eisenwerke.

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	P_2O_5
Zugesetzter Hammerschlag	14,69	1,51	15,07	63,92	3,18	1,60
Puddelofenschlacke; 40 Minuten nach dem Einsetzen des Roheisens . .	24,04	0,19	18,74	51,22	4,42	1,80
desgl. 48 Minuten nach dem Einsetzen	27,17	n. best.	5,28	59,56	5,17	2,12
desgl. 53 „ „ „ „	27,77	„	4,81	59,95	5,29	2,19
desgl. 58 „ „ „ „	27,46	„	4,19	58,41	5,45	2,22
desgl. 62 „ „ „ „	25,72	„	4,20	60,61	4,65	2,07
desgl. 78 „ „ „ „	15,79	„	9,21	69,52	2,81	1,66

Zu erwähnen ist, daß hier vor Entnahme der letzten Schlackenprobe Schlacke abgelassen wurde. Die in diesem Zeitabschnitte stattfindende Verbrennung von Eisen zeigt sich daher in der Zusammensetzung der Schlacke besonders deutlich.

2. Feinkorneisendarstellung aus silicium- und manganreichem Roheisen auf einem oberschlesischen Eisenwerke.

	SiO_2	FeO	Fe_2O_3	MnO	Al_2O_3	CaO	P_2O_5
Im Herde zurückgebliebene Schlacke.	15,32	52,18	22,81	6,56	0,33	0,70	2,80
43 Minuten nach dem Einsetzen	30,50	54,61	7,72	12,33	0,41	0,80	4,20
52 „ „ „ „	23,19	52,43	6,94	12,51	0,49	0,83	4,22
55 „ „ „ „	20,37	57,06	9,04	10,10	0,30	0,51	3,49
62 „ „ „ „	19,95	51,68	11,45	11,69	0,27	0,50	4,26
91 „ „ „ „	21,91	46,76	12,36	15,87	0,30	0,43	3,10
96 „ „ „ „	19,45	48,04	13,48	14,40	0,34	0,62	4,17
Aus der Luppe ausfließende Schlacke.	16,29	51,62	19,32	8,46	0,38	0,61	3,78

3. Stahldarstellung in Zorge.

	SiO_2	P_2O_5	Fe_2O_3	FeO	Al_2O_3	MnO	CaO MgO
47 Minuten nach dem Einsetzen	20,98	5,25	7,12	58,98	2,78	1,64	3,46
66 „ „ „ „	20,51	5,25	4,09	62,03	2,82	1,64	3,64
80½ „ „ „ „	20,12	n. best.	4,12	62,14	2,87	n. best.	3,67
98 „ „ „ „	20,34	„	5,20	61,20	2,87	„	3,21
113 „ „ „ „	20,27	„	5,20	61,20	2,91	„	4,16
122 „ „ „ „	20,40	„	4,95	61,34	3,05	„	3,53
Im Ofen zurückbleibende Schlacke	20,72	„	6,24	59,88	2,86	„	3,48

Obgleich die Zusammensetzung der Schlacken teilweise von Nebenumständen (z. B. dem Einwerfen fremder Schlacke) abhängig ist, zeigen doch im ganzen die während des Verlaufes des Frischens eintretenden Änderungen der Zusammensetzung eine gewisse Regelmäßigkeit. Der Kieselsäuregehalt steigt unmittelbar nach dem Einschmelzen wegen der stattfindenden Verbrennung von Silicium, bleibt dann während des Frischens annähernd unverändert, um zuletzt, wo noch größere Mengen Eisen verbrennen, wieder abzunehmen; der Eisenoxydgehalt (Fe_2O_3) nimmt regelmäßig beim

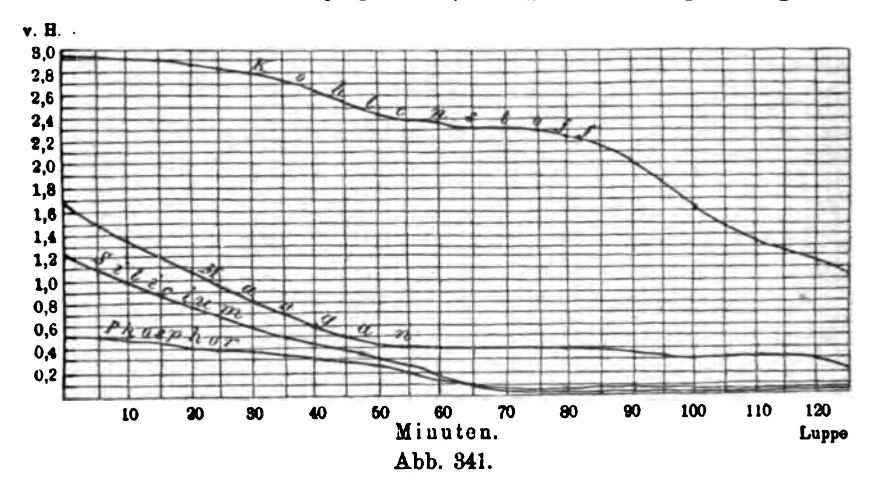


Abb. 341.

Beginne des Frischens ab, um erst am Schlusse wieder auf den ursprünglichen Stand zurückzukehren. Dieser Umstand beweist deutlich, daß, wie mehrfach hervorgehoben wurde, gerade das Eisenoxyd im Puddelofen als Verbrennungsmittel für Kohle, Silicium, Phosphor und Mangan dient, indem es zu Oxydul reduziert wird.

e) Die Betriebsergebnisse.

Die Zeitdauer der Verarbeitung eines Satzes bis zu dem Wiederbeginn des Einsetzens beträgt — abweichend nach der Beschaffenheit des Roheisens — bei Öfen ohne Vorwärmung des Roheisens 1½ bis 2 Stunden, so daß in 24 Stunden 12 bis 16 Sätze verarbeitet werden. Durch starke Vorwärmung läßt sich die Zahl der Sätze steigern, und in Öfen mit Doppelherden (Springer, Piëtzka) kann man 20 bis 24 Sätze in 24 Stunden verarbeiten. Die Erzeugung eines einfachen Puddelofens in 24 Stunden beträgt demnach durchschnittlich etwa 3 t, eines Doppelpuddelofens mit Vorwärmung 5 t, eines Doppelpuddelofens mit 2 Herden 10 t.

Ein einfacher Puddelofen wird der Regel nach von 2 Arbeitern in der Schicht bedient, während durch einen dritten Arbeiter, der für mehrere Öfen gemeinschaftlich angestellt ist, die Handlangerarbeiten (Herbeiholen der Schmelzstoffe, Hilfe beim Luppenfahren u. a.) besorgt werden. Doppelpuddelöfen erheischen auch die doppelte Zahl Arbeiter.

Der Abbrand, d. h. der Unterschied im Gewichte des Einsatzes und der erfolgten Rohschienen beträgt durchschnittlich etwa 12 v. H. des Roheisengewichts, kann aber auch auf 15 v. H. steigen und in anderen Fällen bis auf 3 v. H. sinken. Um die Erklärung für diese beträchtlichen Abweichungen zu finden, muß man mehrere Umstände in Betracht ziehen.

Zunächst ist die Zusammensetzung des Roheisens hierbei von Einfluß. Je höher sein Gehalt an ausscheidenden Fremdkörpern ist (Mangan, Silicium, Phosphor), desto höher muß der Gewichtsverlust beim Frischen ausfallen.

Sodann kommt die Art und Weise, in welcher die Verbrennung bewirkt wird, in Betracht. Je mehr das Eisen vor der Berührung mit den Verbrennungsgasen geschützt bleibt, je reichlicher also die Schlackendecke ist, desto weniger Eisen verbrennt, und desto niedriger ist der sich ergebende Abbrand.

Fernerhin ist zu berücksichtigen, daß in dem Gewichte der Rohschienen das Gewicht der eingeschlossenen Schlacke mit inbegriffen ist, und daß man aus diesem Grunde für das Ausbringen um so höhere, für den Abbrand um so niedrigere Ziffern erhält, je schlackenreicher die Rohschienen sind. Zuverlässige Bestimmungen des Schlackengehalts der Rohschienen liegen nur wenig vor; wenn aber fertiges Handelseisen mehr als 2 v. H. Schlacke enthalten kann (Seite 172 III), so darf man annehmen, daß der Schlackengehalt der Rohschienen mindestens den doppelten Betrag zu erreichen vermag [1]). Berücksichtigt man diesen Umstand, so steigert sich die Ziffer für den wirklichen Abbrand in manchen Fällen erheblich. Je größer der Einsatz im Puddelofen war, desto schlackenreicher pflegen, wie früher hervorgehoben wurde, die Rohschienen zu sein; das auffallend günstige Ausbringen mancher Doppelpuddelöfen beruht jedenfalls zum Teil auf diesem Umstande.

Der Brenstoffverbrauch zur Darstellung von 1000 kg Rohschienen beträgt bei Anwendung von Steinkohlen und einfachen Öfen mit Rostfeuerung gewöhnlich 800 bis 900 kg, wenn man gewöhnliches Weißeisen auf sehniges schmiedbares Eisen verarbeitet; bei Darstellung von Stahl steigt der Brennstoffverbrauch auf 1300 kg und darüber. Der Grund hierfür liegt in der längeren Zeitdauer des Verfahrens wie in der Notwendigkeit, hohe Temperatur bei tunlichst schwachoxydierender Flamme im Ofen zu erhalten. In gewöhnlichen Doppelpuddelöfen mit Steinkohlengasfeuerung (Bicherouxöfen) sinkt der Brennstoffverbrauch auf 650 bis 700 kg, in Doppelpuddelöfen mit zwei Herden auf etwa 500 kg. Benutzt man Braunkohlen zum Heizen, so erhöht sich der Brennstoffverbrauch in ungefähr gleichem Maße, wie ihre Wärmeleistung geringer ist.

Daß bei Puddelöfen mit Rostfeuerung und einfacher Gasfeuerung (ohne Wärmespeicher und Umsteuerung der Flammenrichtung) die Abhitze zur Heizung der Dampfkessel verfügbar bleibe, wurde schon erwähnt.

---

[1]) Die auf Seite 172 III mitgeteilten Schlackenbestimmungen bestätigen im wesentlichen diese Annahme.

f) Die Erzeugnisse.

Die Rohschienen, das erste Erzeugnis des Puddelverfahrens, sind, wie erwähnt, von Schlacke reichlich durchsetzt. Sie sind ein Zwischenerzeugnis und erfordern eine fernere, im letzten Abschnitte dieses Buches geschilderte Reinigung durch Schweißen und Walzen, um Handelsware zu liefern.

Die Eigentümlichkeiten des geschweißten Puddeleisens im Vergleiche zu anderm Schweißeisen, insbesondere zum Frischfeuereisen, wurden schon früher erwähnt: aus vorzüglichem Roheisen läßt sich zwar im Frischfeuer ein schmiedbares Eisen darstellen, welches sich vor dem Puddeleisen durch Gleichartigkeit und geringen Schlackengehalt auszeichnet; aber aus phosphorreichen Roheisensorten gelingt es leichter im Puddelofen als im Frischfeuer, ein noch brauchbares Eisen zu erzeugen.

Die Schlacken des Puddelverfahrens sind, wie die schon mitgeteilten Analysen nachweisen, den Frischfeuerschlacken ähnlich zusammengesetzt und wie diese reich an Eisenoxyden, aber auch, sofern man phosphorreiches Roheisen verarbeitete, reich an Phosphorsäure. Die phosphorsäurereichen Schlacken werden beim Hochofenbetriebe wieder zugesetzt und sind in solchen Fällen besonders gesucht, wo man auf phosphorreiches Roheisen für das Thomasverfahren (s. u.) arbeitet; die phosphorsäureärmeren bleiben im Puddelofen, bis auch ihr Phosphorgehalt sich so weit angereichert hat, daß ein Ersatz geboten erscheint.

Literatur.

a) Einzelne Werke.

Percy-Wedding, Handbuch der Eisenhüttenkunde. Braunschweig 1864. Abteilung 1, Seite 487—606 (Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen).

H. Wedding, Die Darstellung des schmiedbaren Eisens. Braunschweig 1875 (Seite 54—112 Frischfeuerbetrieb; Seite 113—332 Puddeln).

P. Tunner, Die Stabeisen- und Stahlbereitung in Frischherden. 2 Bände. 2. Auflage. Freiberg 1858.

E. F. Dürre, Die Anlage und der Betrieb der Eisenhütten. Band III. Leipzig 1891.

b) Abhandlungen.

Über Schweifseisen im allgemeinen.

H. Jüptner von Jonstorff, Ein Beitrag zu den Vorgängen bei Herstellung von fertigem Schweißeisen aus Rohluppen. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1894, Seite 237.

Über Darstellung des Schweifseisens aus Erzen.

Geschichtliches. The Iron and Steel Magazine. Band IX, Seite 441.

H. D. Mc. Caskey, Iron Metallurgy in the Philippines.. Engineering and Mining Journal 1903, Seite 780. Auszug in „Stahl und Eisen“ 1904, Seite 264.

V. Bellamy, On a West African smelting house. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904, Band II, Seite 99.

C. v. Schwarz, Ein Eisenwerk Zentralindiens. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1879, Seite 1. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1892, Seite 189.

C. v. Schwarz, Über die Eisen- und Stahlindustrie Ostindiens. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 209, 277, 337.
Fr. Hupfeld, Die Eisenindustrie in Togo, Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten 1899, Heft 4.
A. Ledebur, Über den japanischen Eisenhüttenbetrieb. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 842.
E. Fuchs & E. Saladin, Métallurgie du fer chez les Khouys. Annales des mines, Reihe 8, Band 2, Seite 287.
T. Egleston, The American bloomary process for making iron direct from the ore. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 8, Seite 515.
W. Siemens, Some further remarks regarding the production of iron and steel by direct process. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877, I, Seite 345.
A. L. Holley, Notes on the Siemens direct process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 8, Seite 321; im deutschen Auszuge in der Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 140.
Late developments in the Siemens direct process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 10, Seite 274; deutsch in „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 253.
P. Tunner, Neuere Fortschritte in der direkten Darstellung des Eisens aus seinen Erzen (Siemensprozeß). Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1881, Seite 253.
Ed. Grateau, Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu par le procédé Chenot. Revue universelle des mines, Reihe 1, Band 6 (1859), Seite 1.
M. Baills, Traitement de la Vena dulce dans les fours à reductions Chenot. Annales des mines, Reihe 7, Band 15 (1879), Seite 229.
J. Ireland, Some recent improvements in the manufacture of iron sponge. The Journal of the Iron and Steel Institute 1878 I, Seite 47.
L. Garrison, Husgavel's improved high bloomary for production of iron and steel direct from ore. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 16, Seite 334.
Neuer Finnländischer Stückofen. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 471.
J. v. Ehrenwerth, Der Eamesprozeß. Österr. Zeitschrift 1891, Seite 545.
A. Ledebur, Über Darstellung von schmiedbarem Eisen aus Erzen. „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 576.

Über Frischfeuerbetrieb.

Botischew, Über Veränderungen, welche das Roheisen während des Frischprozesses erleidet. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1862, Seite 228, aus dem Russischen Berg-Journal 1862, Band 1, Seite 238.
R. Åkerman, Die schwedische Eisenindustrie. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1877, Seite 120.
J. v. Ehrenwerth, G. A. Forsbergs Frischfeuer. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1885, Nr. 33.
Beschreibung der Erzeugung des Steirischen Herdfrischstahls. „Stahl und Eisen“ 1889, Seite 485.

Über Puddeln.

Dr. Kosmann, Über den Puddelbetrieb in dem Siemensschen Gasregeneratorofen. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Band 18 (1870), Seite 145.
Zusammenstellung über die Betriebsverhältnisse von Puddel- und Schweißöfen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 16 (1872), Seite 673.
P. Roberts, The puddling process, past and present. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 8, Seite 355; in deutscher Bearbeitung in der Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 191.

A. Raze, Note sur l'application du système Bicheroux aux fours à puddler. Revue universelle des mines, Reihe 2, Band 1 (1877), Seite 196.

Anwendung des Bicheroux-Systems auf Puddelöfen in der Eisenhütte zu Ougrée. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 429.

E. Goedicke, Entwickelung und gegenwärtiger Stand des Puddelofenbetriebes mit Gasfeuerung. „Stahl und Eisen" 1889, Seite 554.

Wedding, Der Piétzkasche Puddelofen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 22, Seite 169.

Der Piétzka-Puddel- und Schweißofen. Österr. Zeitschrift 1892, Seite 211.

Gaspuddelofen von Springer. „Stahl und Eisen" 1889, Seite 776.

Report of the commission appointed by the puddling committee of the Iron and Steel Institute to investigate the working of Danks's rotary puddling machine. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872 I, Seite IV, 293.

J. A. Jones, Commercial aspects of the Danks's puddling process. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872 I, Seite 278.

T. R. Camptons revolving furnace and its products. The Journal of the Iron and Steel Institute 1874 I, Seite 384.

E. Fisher-Smith, On the Casson-Dormoy puddling furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1876 I, Seite 109.

Kirk, On puddling in ordinary and rotary furnaces. The Journal of the Iron and Steel Institute 1876 I, Seite 367; 1877 I, Seite 140.

R. Howson, On mechanical puddling. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877 I, Seite 416.

S. Jordan, Notice sur le puddlage mécanique en Suède. Revue universelle des mines, Reihe 2, Band 3 (1878), Seite 100.

J. P. Roe, The Roe puddling machine. Iron Age vom 29. Mai 1902, Seite 1.

Über die Anwendung von Maschinen beim Puddelbetriebe. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 11 (1867), Seite 107.

Th. Turner, Economical puddling and puddling cinder. The Journal of the Iron and Steel Institute 1891 1, Seite 119.

F. Gouvy, Die Doppelexplosionen von Puddelöfen. „Stahl und Eisen 1892, Seite 1001.

E. Laduron, Note sur le puddlage direct de la fonte liquide sortant du haut-fourneau. Revue universelle, Reihe 3, Band 33 (1896), Seite 22.

E. Laduron, Le puddlage direct de la fonte aux usines Bonchill à Hourpes. Revue universelle, Reihe 3, Band 45 (1899), Seite 36.

Chr. Lan, Studien über die Reaktionen beim Verfrischen des Gußeisens. Berg- und hüttenm. Ztg. 1860, Seite 181 (aus den Annales des mines, Reihe 5, Band 15).

Dr. Drassdo, Über die chemischen Vorgänge bei Überführung des Roheisens in Stabeisen durch den Puddelprozeß. Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen 1863, Seite 170.

A. Schilling, Beiträge zur Kenntnis des Puddelprozesses. Berg- und hüttenm. Ztg. 1863, Seite 313; Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie, Band 9, Seite 61.

K. List, Beitrag zur Theorie des Puddelprozesses. Programm der Gewerbschule zu Hagen 1860, Seite 4; Wagners Jahresbericht der chemischen Technologie für 1860, Seite 46.

K. List, Über das Verhalten des Siliciums beim Frischen des Roheisens. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 9, Seite 380.

K. List, Anmerkungen über die Wichtigkeit des Eisenoxydgehaltes der Frischschlacken. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 19 (1875), Seite 19.

J. Kollmann, Beiträge zur Untersuchung des Puddelprozesses. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Band 18 (1874), Seite 325.

H. Louis, On the chemistry of puddling. The Journal of the Iron and Steel Institute 1879 I, Seite 219.

L. Cubillo, Die Chemie des Puddelprozesses. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 414 (aus The Iron and Coal Trades Review).
G. J. Snelus, Scientific features of the Danks's puddling machine. The Journal of the Iron and Steel Institute 1872 I, Seite 246; daraus in Dinglers polyt. Journal, Band 204, Seite 216.

IV. Die Darstellung des Flufseisens.

1. Über einige Eigentümlichkeiten des Flufseisens und die Mittel zur Erzielung dichter Güsse.

a) Die Hohlräume im Flufseisen.

Zerteilt man einen noch unbearbeiteten Abguß aus Flußeisen in zwei Hälften, so gewahrt man nur in einzelnen Fällen eine vollständig dichte Bruchfläche. Mit Hilfe einer Lupe kann man fast immer mehrere, wenn auch bisweilen nur kleine Hohlräume auf der Bruchfläche erkennen; häufig zeigen sich solche Hohlräume auch dem unbewaffneten Auge in reichlicher Menge und in größeren Abmessungen (bis zu einigen Zentimetern Durchmesser und Länge), und in einzelnen Fällen ist die ganze Bruchfläche damit durchsetzt.

Die Neigung, Hohlräume im Innern beim Erstarren zu bilden, teilt das Flußeisen mit zahlreichen anderen Metallen (Kupfer, Nickel, Silber u. a. m.), und je leichter die Hohlräume entstehen, desto schwieriger wird die Herstellung von Gebrauchsgegenständen durch Gießen. Das Verhalten des Flußeisens aber wird durch die Anwesenheit von Hohlräumen auch dann geschädigt, wenn der Abguß nicht unmittelbar als Gebrauchsgegenstand dienen, sondern einer Bearbeitung durch Hämmern, Pressen oder Walzen unterzogen werden soll. Denn die Wände der Hohlräume lassen sich durch Bearbeitung in hoher Temperatur zwar zusammendrücken, aber nicht zusammenschweißen. Wo der Hohlraum sich befand, hinterbleibt eine unganze Stelle, welche durch Ätzen (Seite 84 III) dem Auge wieder erkennbar gemacht werden kann.

Zwei verschiedene Ursachen können die Entstehung von Hohlräumen veranlassen.

Die eine Ursache ist die Schwindung beim Erkalten, d. h. die Verkleinerung der Abmessungen, welche das gegossene Metall erleidet. Wenn das flüssige Metall in die zu seiner Aufnahme dienende Gußform eingegossen wird, findet zunächst rings an dem Umfange wegen der Wärmeentziehung durch die Gußformwände Erstarrung, Abkühlung und Schwindung statt; es entsteht hier eine Kruste, welche das noch flüssige Metall einschließt und dann nicht mehr so stark wie dieses schwinden kann. Nun beginnt auch dieses zu erstarren, dabei mehr und mehr an die vorhandene Kruste sich ansetzend; da es hierbei seinen Rauminhalt verkleinert, die zuerst gebildete Kruste aber nicht mehr in dem gleichen Maße schwindet, muß im Innern ein Hohlraum entstehen, welcher immer mehr anwächst, je mehr die Erkaltung fortschreitet, und welcher

sich an derjenigen Stelle findet, wo das Metall am längsten flüssig war. Bei prismatischen Blöcken liegt diese Stelle in der Nähe der Achse, bei weniger einfachen Formen gewöhnlich in der Mitte der stärksten Querschnitte, an Kreuzungspunkten usw.

Füllt man z. B. eine eiserne, oben offene Gußform von prismatischer Form durch Eingießen des Metalls von oben her allmählich an, so bleibt das zuletzt eingegossene, oben befindliche Metall am längsten flüssig, und im oberen Teile des Abgusses entsteht ein Hohlraum, welcher eine Form und Lage wie in Abb. 342 besitzen kann; ging die Erkaltung gleichmäßiger vonstatten, etwa bei starker Bewegung des einströmenden Metalls oder beim aufsteigenden Gusse von unten her, so kann der Hohlraum sich kanalartig durch fast die ganze Länge des Abgusses erstrecken (Abb. 343).





Abb. 342.

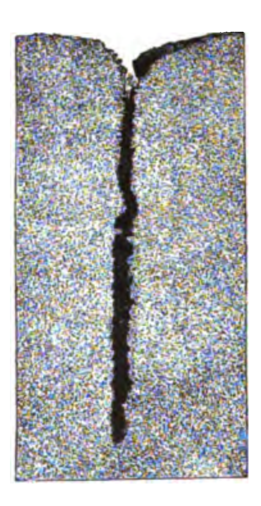


Abb. 343.

Sofern nun die Hohlräume bei ihrer Entstehung nicht etwa durch Gase, welche aus dem Metalle austreten, angefüllt werden, sind sie leer in der buchstäblichen Bedeutung des Wortes. Von außen her drückt aber die Luft auf die Oberfläche des Metalls; so kann es geschehen, daß, solange das Metall noch weich ist, die Oberfläche eingedrückt wird und die Luft, wie bei dem Block Abb. 343, sich einen Kanal durch die weiche Masse bohrt, um die Leere im Innern auszufüllen. Diesen Vorgang nennt man *Lunkern* oder *Saugen*. Eine trichterförmige Öffnung entsteht dabei an der Oberfläche (der Saugtrichter), welche nach innen verläuft.

Im Innern dieser Hohlräume finden sich oft kleine, aber gut ausgebildete Tannenbaumkristalle (Abb. 84 auf Seite 283 I), an den Wänden festsitzend, oder doch Andeutungen dieser Kristalle, welche den Wandflächen ein rauhes, zackiges Ansehen verleihen; nicht selten auch geschieht es, daß der Hohlraum fast ganz mit solchen Kristallbildungen in losen Anhäufungen ausgefüllt ist, so

daß man auf der Bruchfläche nicht einen zusammenhängenden Hohlraum gewahrt, sondern nur die zwischen den Kristallen gebliebenen Zwischenräume, welche porenartig die Stelle durchsetzen, wo das Metall zuletzt erstarrte, und welche bisweilen erst beim Ätzen deutlich erkennbar werden.

Die Größe dieser Hohlräume ist um so beträchtlicher, je größer das Schwindmaß (das Verhältnis der stattfindenden Verkleinerung des gegossenen Metalls) und je größer der Rauminhalt des Abgusses ist. Das Schwindmaß des Flußeisens beträgt $^1/_{55}$ bis $^1/_{70}$ der Abmessungen[1]) und hängt sowohl von der chemischen Zusammensetzung als von der Temperatur ab, mit welcher das Metall in die Gußform eingegossen wurde. Im allgemeinen schwindet das kohlenstoffärmere Metall stärker als das kohlenstoffreichere, das beim Eingießen stark überhitzte stärker als das weniger überhitzte[2]). Mit den Abmessungen des Abgusses, also auch mit seinem Rauminhalte, wächst aber das Maß der gesamten Schwindung und demnach die Größe des entstehenden Hohlraums.

Die zweite Ursache der Entstehung von Hohlräumen im Innern gegossener Metalle ist eine Entwickelung von Gasen aus dem flüssigen oder halbflüssigen Metalle, welche, sofern sie nicht Gelegenheit zum Entweichen fanden, zurückgehalten wurden und im Metalle Gasblasen bildeten. Beim Flußeisen besitzt dieser Vorgang besondere Wichtigkeit, da alles geschmolzene Flußeisen Gase in mehr oder minder reichlicher Menge entwickelt. Der Fall kommt vor, daß die Bruchfläche eines Abgusses vollständig von Gasblasen durchsetzt ist. Von den durch die Schwindung erzeugten Hohlräumen unterscheiden sich die Gasblasen teils durch ihre Lage, teils durch die glatte Form ihrer Wände. Der Fähigkeit des flüssigen Eisens, Gase, insbesondere Wasserstoff, zu lösen und beim Abkühlen und Erstarren ganz oder teilweise zu entlassen, ist schon früher (Seite 385 I) gedacht worden. Neben dem Austreten gelöst gewesenen Gases kann eine Neubildung von Kohlenoxyd stattfinden, welches bei seinem Aufsteigen die Austreibung des gelösten Gases befördert (Seite 390 I) und in Vermischung mit diesem entweicht. Der Vorgang bei dieser Kohlenoxydbildung hat auf Seite 296 I und 390 I bereits Erläuterung gefunden. Die auf Seite 390 I mitgeteilten Analysen der entweichenden Gase zeigen, daß die Menge des in ihnen enthaltenen Kohlenoxydes recht beträchtlich sein kann, während das in den Blasen des erstarrten Metalls eingeschlossene Gas nach den Analysen auf Seite 385 I vorwiegend aus Wasserstoff besteht. Der Unterschied beruht auf der Tatsache, daß auch das erstarrte, noch glühende Metall noch reichlich Wasserstoff aushaucht, welcher in die zuvor entstandenen Gasblasen eintritt und hier trotz seiner beim Abkühlen eintretenden beträchtlichen Raumverringerung Überdruck erzeugt (Seite 386 I), während die Kohlenoxydbildung mit dem Starrwerden des Metalls aufhört.

[1]) Demnach verkürzt sich eine Abmessung der Gußform von 55 mm auf 54 mm im Abgusse, sofern das Schwindmaß $^1/_{55}$ beträgt.

[2]) Das Schwindmaß des Gußeisens beträgt im Mittel nur $^1/_{96}$; daher ist es leichter, aus Gußeisen dichte, d. h. von Schwindungshohlräumen freie Abgüsse darzustellen als aus Flußeisen.

Die Entwickelung der Gase aus dem Flußeisen ist deutlich erkennbar. Solange das Metall noch flüssig ist, zeigt sich seine Oberfläche mit einer brennenden Gasschicht bedeckt, welche bei längerem Stehen gewöhnlich schwächer wird; wenn die Oberfläche des Metalls sich abkühlt und dadurch dickflüssige Beschaffenheit annimmt, werden knisternde, schwirrende Funken ausgeworfen, aus mitgerissenen Teilchen des Metalls bestehend (Spratzen des Metalls). Gießt man nun das Metall in eine oben offene Form, so zeigt sich, wenn das Metall reich an Gasen ist, kurz vor dem völligen Erstarren eine eigentümliche Erscheinung. Das Metall, welches jetzt teigartige Beschaffenheit angenommen hat, während seine Oberfläche bereits starr geworden ist, bläht sich auf, wächst in der Form, und ein prismatischer Block kann unter Umständen fast die doppelte Höhe als vorher erlangen. Man nennt diesen Vorgang das Steigen des Flußeisens; er ist die Folge einer massenhaften Entwickelung von Gasen, welche keinen Ausweg mehr fanden, und in seiner Wirkung den Vorgängen beim Backen des Brotes gleich, welche diesem seine lockere Beschaffenheit verleihen.



Abb. 344.



Abb. 345.

Aus dem Umstande, daß die Erstarrung des Metalls von den Wänden der Gußform nach innen zu fortschreitet, daß Gasblasen vorzugsweise da zurückbleiben, wo das Metall bereits seine Dünnflüssigkeit verloren hatte, und daß endlich im Augenblicke des völligen Erstarrens noch einmal eine lebhafte Gasentwickelung einzutreten pflegt, erklärt sich die Anordnung dieser Blasen in den Abgüssen. An der Innenseite der unmittelbar nach dem Gießen entstandenen Kruste aus erstarrtem Metall bildet sich ein Gasbläschen, welches – wie die Gasbläschen an den Wänden eines mit Wasser gefüllten Glases — hier sich ansetzt, zumal da die schon dickflüssige Beschaffenheit des Metalls das Aufsteigen erschwert. Die Erstarrung schreitet fort, mehr Gas wird entwickelt, das Gasbläschen wächst in radialer Richtung von außen nach innen, vergrößert aber auch nach innen zu seinen Durchmesser, da die größere Gasmenge immer nach den noch weichen Teilen des Abgusses, also nach innen, hingedrängt wird. So entsteht eine birnenartige Form der Gasblase mit wagerechter oder schwach nach dem Innern des Abgusses zu ansteigender und rechtwinklig gegen die Abkühlungsfläche gerichteter Achse, bei sehr großem Gasgehalte ein wurmartiger Kanal. Der Querschnitt durch einen prismatischen Flußeisenblock mit mäßiger Gasentwickelung

besitzt demnach das Ansehen Abb. 344. Schneidet man dagegen den Flußeisenblock nach der Achsenrichtung durch, so gewahrt man die Blasen ebenfalls in Reihen, welche den äußeren Begrenzungsflächen annähernd parallel sind; eine beträchtliche Anhäufung von Gasblasen aber findet sich meistens oben, wo die noch aus dem vollständig flüssigen Eisen aufgestiegenen Gase von der bereits starren Decke zurückgehalten wurden (Abb. 345).

Trotz dieser Übereinstimmung in der Anordnung der Gasblasen im allgemeinen sind doch Unterschiede erkennbar, welche für die spätere Verwendung des Flußeisens nicht ohne Bedeutung sind und teils durch die Abweichungen der chemischen Zusammensetzung, teils durch die Temperatur des Metalls beim Eingießen bedingt werden. Je dicker die Kruste erstarrten Metalls ist, welche an den kalten Wänden der Gußform sofort nach dem Eingießen sich bildet, desto weiter liegen die Gasblasen von den Außenflächen des Abgusses entfernt. Jene Kruste ist aber dicker, wenn das Metall in einer seinen Schmelzpunkt nicht erheblich übersteigenden Temperatur, als wenn es in hoch erhitztem Zustande eingegossen wurde. Die chemische Zusammensetzung des Flußeisens spielt insofern eine Rolle hierbei, als ein Gießen in stark überhitztem Zustande um so leichter stattfinden kann, je niedriger die Schmelztemperatur liegt, welche von der chemischen Zusammensetzung abhängt. Daher findet man die Blasen bei Eisen mit höherem Kohlenstoff-, Silicium-, Phosphorgehalte durchschnittlich näher am Rande als bei solchem, welches an jenen Körpern arm ist. Für die spätere Verwendung des Flußeisens sind Gasblasen, welche näher der Mitte liegen, minder nachteilig als die Gasblasen am Rande. Letztere treten, wenn das Eisen gestreckt wird, leicht zu Tage und bilden dann Schuppen an der Außenfläche, welche beim Biegen aufsplittern, auch wohl bei der Bearbeitung sich ablösen und die Brauchbarkeit des Erzeugnisses benachteiligen.

Das oben erwähnte Saugen (Lunkern) der Abgüsse findet nicht statt, wenn das erstarrende Metall reichlich Gase entwickelt. In den bei der Schwindung entstehenden Hohlraum treten die Gase ein, diesen anfüllend, und die Veranlassung zum Ansaugen äußerer Luft ist hierdurch beseitigt.

b) Die Saigerung des Flußeisens.

Wie viele Legierungen anderer Metalle und wie das Roheisen hat auch das Flußeisen die Neigung zu saigern, d. h. vor oder beim Erstarren in Legierungen abweichender Zusammensetzung zu zerfallen. Daher zeigt ein größerer Gegenstand aus Flußeisen selten oder nie an allen Stellen genau die gleiche Zusammensetzung. Je langsamer die Abkühlung stattfand, je größer also der Abguß und je größer die Menge der in ihm enthaltenen fremden Körper ist, desto deutlicher ist der Unterschied. Bei Untersuchung von Erzeugnissen aus Flußeisen läßt sich diese Tatsache häufig beobachten. So z. B. fand v. Dormus bei der Untersuchung von Eisenbahnschienen[1]):

[1]) Zeitschr. des österr. Ingenieur- und Architektenvereins 1896, Seite 192. Die Abhandlung enthält noch fernere Beispiele der Saigerung in Eisenbahnschienen.

	C	Si	Mn	P	S
an der Lauffläche . . .	0,411	0,011	0,477	0,068	0,026
in der Mitte des Kopfes .	0,525	0,007	0,506	0,104	0,088
im Stege	0,485	0,010	0,506	0,099	0,040
im Fuße	0,456	0,009	0,488	0,064	0,025
an der Lauffläche . . .	0,294	0,012	0,442	0,028	0,018
in der Mitte des Kopfes .	0,504	0,016	0,500	0,062	0.048

Eine gebrochene Schwungradwelle enthielt nach Schanzer[1]):

	C	Si	Mn	P	S
am Umfange . . . . ,	0,810	0,087	0,828	0,058	0,055
in der Mitte	0,470	0,031	0,986	0,167	0,150

Snelus ließ, um ein besonders deutliches Bild von den Folgen der Saigerung zu erhalten, einen sehr großen Flußeisenblock, 0,48 m im Durchmesser, 2,13 m hoch, dessen Schwefel- und Phosphorgehalt absichtlich etwas angereichert war, sehr langsam erstarren und fand dann folgende mittlere Zusammensetzung zweier Platten, deren eine in der Nähe des oberen Endes und deren andere unweit des Bodens ausgeschnitten war[2]).

	Fe	C	Si	S	P	Mn	Cu
Oben	98,21	0,68	0,02	0,14	0,14	0,68	0,004
Unten	99,08	0,39	0,02	0,04	0,06	0,50	0,004

Dagegen besaßen sechs Proben, welche der Reihe nach an sechs Stellen einer von der Ecke nach der Mitte gezogenen Linie genommen wurden, folgende Gehalte an Kohlenstoff, Schwefel und Phosphor (Probe Nr. 1 ist zunächst am Rande, Nr. 6 aus der Mitte des Blockes genommen):

	Oberer Ausschnitt			Unterer Ausschnitt		
	C	S	P	C	S	P
Probe Nr. 1 . . .	0,44	0,082	0,044	0,44	0,048	0,060
„ „ 2 . . .	0,54	0,048	0,060	0,42	0,056	0,062
„ „ 3 . . .	0,57	0,080	0,086	0,41	0,048	0,054
„ „ 4 . . .	0,61	0,096	0,097	0,40	0,048	0,054
„ „ 5 . . .	0,68	0,120	0,111	0,38	0,048	0,054
„ „ 6 . . .	0,77	0,187	0,142	0,37	0,044	0,052

Wie man sieht, sind die Unterschiede am oberen Ende bedeutender als am unteren.

Auch in anderer Weise macht sich die Saigerung des Flußeisens bemerkbar.

[1]) Aus den Transactions of the Institution of Naval Architects 1896 in „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1090.

[2]) Vergl. Literatur. Die mitgeteilten Ziffern sind die Durchschnittswerte aus mehreren in der Originalabhandlung enthaltenen, übrigens gut übereinstimmenden Analysen.

Betrachtet man die Oberfläche eines Gußblockes oder Formgußstückes, so findet man sie häufig mit zahlreichen Körnchen von Hirsekorngröße oder noch etwas größer bedeckt. Die Körnchen sind Tropfen einer Legierung von niedrigerer Schmelztemperatur. welche aus dem bereits starr gewordenen und sich zusammenziehenden Muttereisen herausgedrückt wurden wie Quecksilbertropfen aus einem Lederbeutel, wenn man ihn stark drückt[1]). Bei der Untersuchung dieser Tropfen und des zugehörigen Muttereisens fand ich folgende Schwefel- und Phosphorgehalte:

	S	P
Muttereisen	0,08	0,06
Ausgesaigerte Tropfen .	0,08	0,10

Entsteht bei der Schwindung des in die Gußform gegossenen Metalls ein luftleerer Hohlraum, wie oben beschrieben wurde, so sammeln sich in diesem gewöhnlich reichliche Mengen der aussaigernden Körper. In einem solchen Hohlraume einer 7 t schweren Walze aus Bessemerstahl fand Reuß[2]) eine Aussaigerung in Form eines flachen Kuchens von 15 mm Dicke und 50 mm Durchmesser; die chemische Untersuchung lieferte nachstehende Ergebnisse:

	C	Si	P	S	Mn
Probe aus dem vollen Metall; 300 mm oberhalb des Hohlraumes	0,309	0,252	0,079	0,055	0,960
Probe von der Oberfläche des Hohlraumes .	0,680	0,326	0,318	0,325	1,490
Ausgesaigerter Kuchen innerhalb des Hohlraumes.	1,274	0,410	0,758	0,418	1,080

Wird nun ein Flußeisenblock, in dessen Innern ein solcher Hohlraum mit Aussaigerungen vorhanden ist, unter dem Hammer, der Presse oder im Walzwerke gestreckt, so wird zwar der Hohlraum zusammengedrückt, aber die ausgesaigerten Körper hinterbleiben und nehmen einen um so größeren Teil des Querschnitts ein, je kleiner dessen Abmessungen geworden sind. Wenn mithin die Anwesenheit eines Hohlraumes im Gußblocke schon an und für sich imstande ist, dessen Brauchbarkeit zu schädigen, so treten die nachteiligen Folgen in verstärktem Maße auf, wenn Aussaigerungen in den Hohlraum eintreten, die stets reich an Schwefel und Phosphor sind. Bei Herstellung feiner Bleche können sie, indem sie bei der fortschreitenden Streckung schließlich freigelegt werden, die Entstehung rauher Oberflächen oder vollständige Abblätterungen verursachen, bei Weißblechdarstellung die Verzinnung erschweren und zu anderen Mißerfolgen Veranlassung geben. Daß bei Vorkommnissen dieser Art schwefel- und phosphorreiche Verbindungen in der schadhaften Stelle (dem ursprünglichen Hohlraume) sich angehäuft hatten, wurde durch Eccles nachgewiesen[3]).

---

[1]) Die gleiche Erscheinung zeigt sich beim Gußeisen und wird in den Eisengießereien Anbrand genannt. Näheres: A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei, 3. Aufl., Seite 36.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 643.

[3]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, Seite 70; „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 740.

Hieraus erklärt sich auch, daß Probestäbe, welche aus der Mitte dickerer Gegenstände herausgearbeitet wurden, um auf Zugfestigkeit geprüft zu werden, sich oft erheblich ungünstiger verhalten als das Stück im ganzen. Sie sind von Aussaigerungen, welche lockere Stellen bilden, durchsetzt. Der Bruch erfolgt da, wo die lockere Stelle den größten Querschnitt besitzt, und schon auf der frischen Bruchfläche verrät sich gewöhnlich die Fehlstelle dem Auge durch ihren matteren Glanz und ihre dunklere Farbe. Deutlicher tritt sie beim Ätzen hervor, am deutlichsten, wenn man den Versuchsstab der Länge nach durchteilt und dann die Schnittfläche ätzt.[1]) Bei der Untersuchung einer solchen in der Mitte einer Zerreißprobe befindlichen lockeren Stelle und einer gesunden Stelle des nämlichen Stabes fand ich nachstehende Zusammensetzung:

	C	S	P	Si	Mn
Lockere Stelle .	n. best.	0,13	0,15	0,03	0,31
Gesunde Stelle .	„	0,06	0,04	0,03	0,25

Befindet sich der Hohlraum im Kopfe eines Flußeisenblocks, wie in Abb. 342 auf Seite 226 III dargestellt worden ist, so sammeln sich hier in der Regel besonders reichliche Mengen von Fremdkörpern, weil diese ohnehin das Bestreben haben, in dem Abgusse, so lange er flüssig ist, emporzusteigen. Auch Oxyde, welche beim Zusatze von Mangan oder Silicium zu dem sauerstoffhaltigen Metalle sich gebildet hatten, vorläufig aber noch in dem flüssigen Metalle zurückgehalten worden waren, können in ansehnlicher Menge in den Hohlraum eintreten. Bei einem aus einem solchen Blocke gewalzten I-Träger war der Steg da, wo der Hohlraum sich befunden hatte, auseinander gegangen, und die Innenflächen sind mit schorfartigen Bildungen von mehreren Zentimetern Durchmesser bedeckt, welche sich ohne Schwierigkeit ablösen ließen. Die von mir angestellte Untersuchung dieser Schörfe, sowie des Muttereisens ergab:

	C	Si	S	P	Mn	Fe	O u. Verlust
Muttereisen	n. best.	0,01	0,28	0,12	0,78	n. best.	—
Schörfe . .	„	0,53	0,39	0,28	21,59	70,28	6,98

Die bedeutende Anhäufung von Mangan und die Anreicherung des Siliciumgehaltes in den Schörfen sowie ihr durch den Gewichtsunterschied gefundener Sauerstoffgehalt lassen schließen, daß das Mangan größtenteils als Manganoxydul, das Silicium als Kieselsäure in die Ausscheidung eingingen. Der noch ziemlich hohe Schwefel- und Phosphorgehalt des Muttereisens bestätigt die früheren Beobachtungen über den stärkeren Gehalt des oberen Teils eines Blockes an diesen Körpern. Das entgegengesetzte Ende des Trägers dürfte nicht mehr als 0,04 v. H. Schwefel und 0,08 v. H. Phosphor enthalten haben; die Beschaffung einer Probe für die Untersuchung war in diesem Falle nicht möglich.

Auch Ruhfus beschreibt solche Fälle, wo Oxyde aus dem flüssigen Metall in die durch Schwindung gebildeten Hohlräume

[1]) Abbildungen solcher Ätzproben: „Stahl und Eisen" 1889, Seite 15.

eingetreten waren [1]). Sie besaßen die Form eines feinen graugrünen Pulvers, welches den hohlen Teil der schon gewalzten Stücke ausfüllte. Die Untersuchung ergab bei drei verschiedenen Proben:

FeO	MnO	SiO_2	S	P_2O_5	CaO
24,74	63,08	9,16	0,61	0,28	0,64
27,01	59,05	10,18	0,76	0,82	0,84
23,12	71,02	5,01	n. best.	0,09	0,21

Das gefundene Calciumoxyd ist jedenfalls durch Zufall aus der stark basischen Schlacke in den Hohlraum geraten, sofern nicht ein Analysenfehler vorliegt [2]).

Auch in die Gasblasen treten mitunter ausgesaigerte Legierungen aus dem Muttereisen ein, welche jedoch meistens nur mit der Lupe oder dem Mikroskop erkannt werden können [3]). Der Vorgang besitzt wegen der Geringfügigkeit der Bildungen geringere Bedeutung als die Saigerung in Schwindungshohlräumen.

c) Die Mittel zur Erzielung dichter Güsse.

Die Benachteiligung, welche das fertige Metall durch die Entstehung von Hohlräumen beim Gießen erfährt, zumal wenn auch Saigerungserzeugnisse sich darin anhäufen, hat von jeher Veranlassung zum Aufsuchen von Mitteln gegeben, um die Entstehung der Hohlräume zu vermeiden und dichte Güsse zu erzielen. Die für diesen Zweck angewendeten Mittel sind ziemlich vielseitig, und ihre Wahl muß zum Teil von der Zusammensetzung des Eisens und von der Einrichtung der Gußform abhängen. Die wichtigsten dieser Mittel sollen ihrer Bedeutung nach im folgenden erörtert werden.

1. Abminderung der Gasentwickelung durch Regelung der chemischen Zusammensetzung des Eisens. Es kommt hierbei zunächst in Betracht, daß Kohlenoxydbildung überhaupt nicht stattfinden kann, wenn nicht im Eisen Eisenoxydul gelöst ist, und das entstehende Kohlenoxyd auch die Entwickelung gelöst gewesenen Wasserstoffes befördert. Sodann hat die Beobachtung gelehrt, daß Eisen, welches Silicium oder Aluminium enthält, geringere Mengen von Wasserstoff entläßt, daß also die Gasentwickelung aus diesem Eisen schwächer ist, als wenn er frei von jenen Körpern ist.

Hieraus ergeben sich die zu treffenden Maßnahmen zur Regelung der chemischen Zusammensetzung des Flußeisens, um die Gasentwickelung abzuschwächen.

Je weniger Gelegenheit dem flüssigen Eisen gegeben ist, Eisenoxydul und Wasserstoff aufzunehmen, desto unbedeutender fällt die Gasentwickelung aus. Jene Gelegenheit ist am geringsten beim Schmelzen im Tiegel, und der Tiegelstahl liefert deshalb auch am

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 41.

[2]) Vergl. Seite 382 I.

[3]) Abbildungen solcher Aussaigerungen in Blasenräumen in vergrößertem Maßstabe: „Stahl und Eisen“ 1887, Blatt XII (Martens).

leichtesten dichte Güsse. Vollständig ausgeschlossen ist sie jedoch auch hierbei nicht.

Je reicher an Kohlenstoff, Mangan und Silicium das Eisen ist, desto weniger Eisenoxydul kann es enthalten; aber der Gehalt an diesen Körpern, insbesondere an Kohlenstoff muß von der beabsichtigten Verwendung des Eisens abhängen. Ein weiches, durch hohe Zähigkeit ausgezeichnetes Eisen kann nicht kohlenstoffreich sein. Schwächer als Kohlenstoff, beeinflußt ein Silicium- oder Mangangehalt das mechanische Verhalten des Eisens. In manchen, bei Besprechung der Herstellungsverfahren ausführlicher zu erläuternden Fällen nun ist es möglich, das Verfahren so zu leiten, daß noch ein mäßiger Silicium- oder Mangangehalt im Metalle anwesend ist, nachdem der Kohlenstoffgehalt bereits ein ziemlich niedriges Maß erreicht hat, und die Gasentwickelung wird dadurch eingeschränkt.

Dennoch ist man fast stets, wenn das geschmolzene Metall oxydierenden Einflüssen ausgesetzt war (Bessemer- und Thomasverfahren, Martinverfahren), gezwungen, durch einen geeigneten, vor dem Ausgießen des übrigens fertigen Metalls gegebenen Zusatz das vorhandene Eisenoxydul zu zerstören. Auch verhältnismäßig kohlenstoffreiches Eisen kann, wenn es unter oxydierenden Einflüssen entstanden war, bereits Eisenoxydul enthalten, welches, in starker Verdünnung im Eisenbade befindlich, nur allmählich durch den Kohlenstoffgehalt zerstört wird.

Der üblichste Zusatz zu diesem Zwecke ist Mangan, in Form von Eisenmangan oder Spiegeleisen angewendet. Eisenoxydul wird dadurch um so rascher zerstört, in je größerem Überschusse das Mangan zugesetzt wird; zugleich wird durch den Manganzusatz der schädliche Einfluß eines etwa anwesenden Schwefelgehalts verringert (Seite 359 I). Daher wird dem Flußeisen fast stets ein Manganzusatz gegeben, wenn es in geschmolzenem Zustande oxydierenden Einflüssen ausgesetzt gewesen ist. Die Höhe des Zusatzes muß von dem Sauerstoffgehalte des Eisens abhängen; ein Sauerstoffgehalt von $0{,}25$ v. H. welcher nach Seite 295 I das höchste erreichbare Maß bildet und nur im ganz kohlenstoffarmen Eisen auftreten kann, würde zu seiner Bindung, der Zusammensetzung des entstehenden Manganoxyduls gemäß, $0{,}86$ v. H. Mangan erheischen. In Wirklichkeit reicht fast immer schon ein geringerer Zusatz zur Erreichung des Zweckes aus, zumal da auch der Kohlenstoffgehalt der Eisenmanganlegierung bei der Zerstörung des Eisenoxyduls mitwirkt. Je schwefelreicher aber das Eisen ist, desto notwendiger ist es, daß ein Überschuß von Mangan im Eisen zurückbleibe. Daher pflegt man den Manganzusatz so zu bemessen, daß das fertige Eisen mindestens noch $0{,}25$ v. H. Mangan enthält, und bisweilen geht der zurückbleibende Mangangehalt über 1 v. H. hinaus. Er darf um so weniger hoch sein, je höhere Ansprüche an die Zähigkeit des Eisens gestellt werden.

Vollständig wird jedoch die Gasentwickelung auch durch einen reichen Manganzusatz nicht beseitigt. Die Entwickelung von Wasserstoff wird durch den Manganzusatz unmittelbar überhaupt nicht, wie durch die Anwesenheit von Silicium oder Aluminium, gehindert;

aus dem gelöst gewesenen Eisenoxydul aber entsteht Manganoxydul, welches keinesfalls sofort ausgeschieden wird und der Einwirkung des im Eisen anwesenden Kohlenstoffs zwar schwieriger als Eisenoxydul, jedoch nicht vollständig widersteht, denn auch Mangan wird durch Kohle reduziert. Auch bei diesem Vorgange entsteht Kohlenoxyd. Es kommt hinzu, daß die im Hochofen dargestellten Eisenmanganlegierungen stets kohlenstoffhaltig sind, und daß ein Teil dieses Kohlenstoffgehalts bei dem Zusatze zu dem sauerstoffhaltigen Metalle ebenfalls unter erneuter Kohlenoxydbildung verbrannt werden kann, wie soeben erwähnt wurde (vergleiche auch Seite 390 I). Obgleich die hierdurch hervorgerufene, oft sehr heftige Gasentwickelung nur kurze Zeit andauert, darf sie nicht außer acht bleiben, wenn man die Wirkung eines Manganzusatzes richtig beurteilen will.

Neben dem Mangan gibt man daher nicht selten andere Zusätze, um die Erreichung des Zieles zu erleichtern. Häufig wird Siliciumeisen hierfür verwendet, dessen Siliciumgehalt neben seiner Einwirkung auf das anwesende Eisenoxydul auch unmittelbar durch seine Gegenwart die Wasserstoffentwickelung hindert. Während zur Bildung von Manganoxydul für je ein Gewichtsteil Sauerstoff etwa 3,5 Gewichtsteile Mangan erforderlich sind, gebraucht die gleiche Menge Sauerstoff bei der Bildung von Kieselsäure nur 0,9 Gewichtsteile Silicium. Ein Zusatz von Silicium oder Mangan beeinflußt jedoch erfahrungsgemäß ungünstig das spätere Verhalten des Eisens, auch wenn die Gasentwickelung dadurch geschmälert wird. Der Tatsache, daß Silicium, welches dem sauerstoffhaltigen Eisen zugesetzt wird, nachteiliger auf dessen Eigenschaften einwirkt als ein Siliciumgehalt, der von vornherein in dem Eisen zugegen war, ist früher ausführliche Erwähnung geschehen (Seite 18 III, 24 III). Durch Mangan neben Silicium wird der übele Einfluß des letzteren gemildert; darum gibt man neben Siliciumeisen auch stets einen Zusatz von Eisenmangan mit entsprechendem Manganüberschuß, oder man benutzt Silicium-Mangan-Eisenlegierungen. Immerhin ist bei der Bemessung des Siliciumzusatzes um so größere Vorsicht geboten, je höhere Ansprüche an das Verhalten des Eisens, seine Schmiedbarkeit, Schweißbarkeit, Zähigkeit gestellt werden. Bei Formgußstücken spielen diese Eigenschaften, insbesondere die ersten beiden, eine minder wichtige Rolle, als bei gewalztem oder geschmiedetem Eisen, während eine starke Gasentwickelung beim Gießen die Brauchbarkeit der Formgußstücke in Frage stellen kann. Daher darf man bei Formgußdarstellung eher als beim Gießen von Blöcken einen reichlichen Siliciumzusatz geben.

Statt des Siliciumeisens als Zusatz benutzt man bisweilen das im elektrischen Ofen erzeugte Siliciumkarbid, Carborund genannt, aus etwa 70 v. H. Silicium nebst 30 v. H. Kohlenstoff bestehend.

Besonders erfolgreich für Abminderung der Gasentwickelung ist ein Zusatz von Aluminium, welches eine niedrigere Schmelztemperatur besitzt als die zuvor erwähnten Zusätze und sich deshalb auch leicht im flüssigen Eisen löst. Zur Bindung von 1 Gewichtsteil Sauerstoff, wobei Aluminiumoxyd Al_2O_3 (Tonerde) entsteht, sind 1,2 Gewichtsteile Aluminium erforderlich, etwa ein

Drittel so viel als von Mangan und nicht viel mehr als von Silicium. Die chemische Verwandtschaft des Aluminiums zum Sauerstoff ist aber stärker als die des Mangans und Siliciums, und das entstehende Oxyd wird nicht wieder durch Kohle zerlegt. Diese Umstände sind von Belang. Mit geringerem Überschusse des Zusatzes und in kürzerer Zeit als bei Anwendung von Mangan ist man bei Anwendung von Aluminium befähigt, das anwesende Eisenoxydul zu zerstören, die Gasentwickelung zu hindern. Heftig kochendes Flußeisen wird sofort ruhig, wenn ein nur kleines Stück Aluminium eingeworfen und darin gelöst wird. Daher ist die Anwendung dieses Mittels seit dem Jahre 1885, in welchem es durch Nordenfelt zuerst erprobt wurde[1]), sehr üblich geworden. Nachteiliger aber als Silicium oder Mangan wirkt Aluminium auf das Verhalten des Eisens, wenn ein Überschuß davon zurückbleibt. Er macht das Eisen dickflüssig, wodurch das Entweichen der bereits entstandenen Gase erschwert und somit das Zurückbleiben von Gasblasen im Innern des Eisens befördert wird, also das Gegenteil dessen, was man zu erreichen beabsichtigte; er verringert die Schmiedbarkeit (Seite 16 III), die Schweißbarkeit (Seite 21 III), erhöht die Schwindung und dadurch die Neigung des Eisens, Schwindungshohlräume zu bilden und zu lunkern. Daher setzt man nicht mehr als etwa $0{,}_1$ v. H. Aluminium dem geschmolzenen Metalle zu, bei Formgußdarstellung, wo jene Schädigung der Eigenschaften minder von Belang ist, etwas mehr, bei Herstellung von Blöcken, die für das Walzwerk bestimmt sind, eher etwas weniger ($0{,}_{06}$ v. H.), und man gibt den Zusatz erst nach dem Manganzusatze, wenn sich zeigt, daß dieser nicht die volle gewünschte Wirkung gehabt hat. Man wendet das Aluminium meistens in reiner Form an (nicht als Eisenaluminium). Da es das Bestreben besitzt, vermöge seines geringen spezifischen Gewichts an die Oberfläche des Metalls zu steigen, wo es dann nutzlos verbrennen würde, muß tunlichst Vorsorge getroffen werden, es unter der Oberfläche festzuhalten, bis es im Eisen sich gelöst hat. Mitunter wirft man es erst während des Gießens in die Gußformen, so daß es von dem einströmenden Metalle gelöst wird.

2. Anwendung eines verlorenen Kopfes. Man versteht unter einem verlorenen Kopfe einen Aufsatz auf dem Abgusse, welcher nach dessen Erkalten entfernt wird. Ist beispielsweise für irgendeinen Zweck ein Block erforderlich, dessen reine Höhe 500 mm betragen müßte, und man gießt ihn statt dessen 600 mm hoch, so hat er einen verlorenen Kopf von 100 mm Höhe, welcher durch Absägen oder in anderer Weise entfernt werden kann.

Ein solcher verlorener Kopf wirkt in mehrfacher Weise günstig. Nach dem Gießen bildet sich an der Oberfläche des ruhig stehenden Metalls eine erstarrte Kruste, welche das Entweichen von aufsteigenden Gasen aus dem noch flüssigen Innern unmöglich macht. Alle diese Gasblasen sammeln sich in dem oberen Teile

---

[1]) Aus den Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 14, Seite 773 in „Stahl und Eisen" 1888, Seite 85. Die Anwendung fand zuerst bei Erzeugung sogenannter Mitisgußstücke statt, aus weichem, im Tiegel geschmolzenem Metalle gegossener Gegenstände.

und machen diesen in stärkerem Maße undicht (vgl. oben Abb. 345). Gibt man nun dem Abgusse einen verlorenen Kopf, so nimmt dieser die Gasblasen auf, und der eigentliche Abguß wird dichter.

Beim Gießen von Blöcken wird die im oberen Teile des Abgusses stattfindende Anhäufung von Fremdkörpern (Seite 230 III) in den Kopf verlegt, und der Abguß selbst erhält eine gleichmäßigere Zusammensetzung.

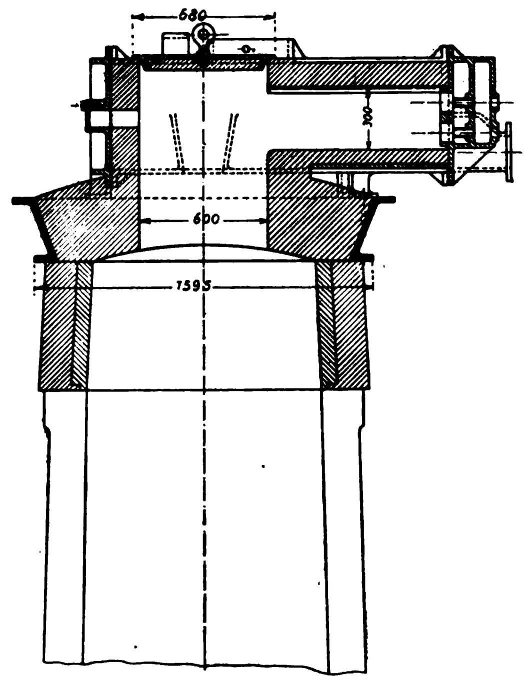
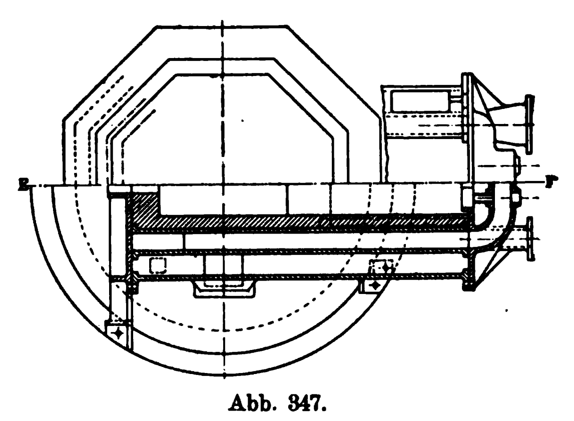


Abb. 346.

Auch der Saugtrichter bei lunkerndem Eisen bleibt im verlorenen Kopfe. Noch in anderer Weise jedoch wirkt der Kopf in diesem Falle wohltätig. Er dient, solange das Metall in seinem Innern ausreichend flüssig bleibt, als Behälter, aus welchem es nach unten fließt, um die bei der Schwindung entstehenden Hohlräume auszufüllen; der Kopf wird also hohl und der darunter befindliche Abguß dicht. Diese Aufgabe vermag freilich der verlorene Kopf nur dann zu erfüllen, wenn er ausreichend lange warm bleibt, so daß die Erstarrung früher im Abgusse als im Kopfe eintritt. Wo es auf große Dichtigkeit der Abgüsse ankommt, sei es bei Herstellung von Schmiedeblöcken oder von Formguß, sucht man den Kopf möglichst lange warm zu halten. Hier ist in erster Linie das Verfahren von Riemer zu erwähnen[1]), welches, wie nachstehende Abbildungen erkennen lassen, auf einem Beheizen des Blockkopfes mittels eines durch Generatorgas gespeisten Brenners beruht.


Abb. 347.

[1]) „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1196; 1904, Seite 392.

Abbildung 346 bis 351 (aus „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1197) zeigt die Kokille mit dem durch ein Schamottfutter gegen das Verbrennen geschützten Aufsatz, und den Brenner, welcher aus einem mit feuerfestem Material ausgekleideten Stahlgußkörper gebildet ist. Sobald die Kokille mit flüssigem Stahl gefüllt ist, wird der Brenner mittels eines Krans aufgesetzt, und Generatorgas und Druckluft, welche beide in einem Röhrenvorwärmer erhitzt werden, einströmen gelassen, so daß die Stichflamme die Oberfläche des flüssigen Stahls trifft. Die Dauer des Heizens richtet sich nach dem Blockgewicht und beträgt bei einem 10 t Block etwa 30 Minuten, bei größeren Blöcken höchstens bis zu einer Stunde.

Der Erfolg dieses bereits vielfach in die Praxis eingeführten Verfahrens ist ein vorzüglicher, so daß es gelingt, den Entfall des

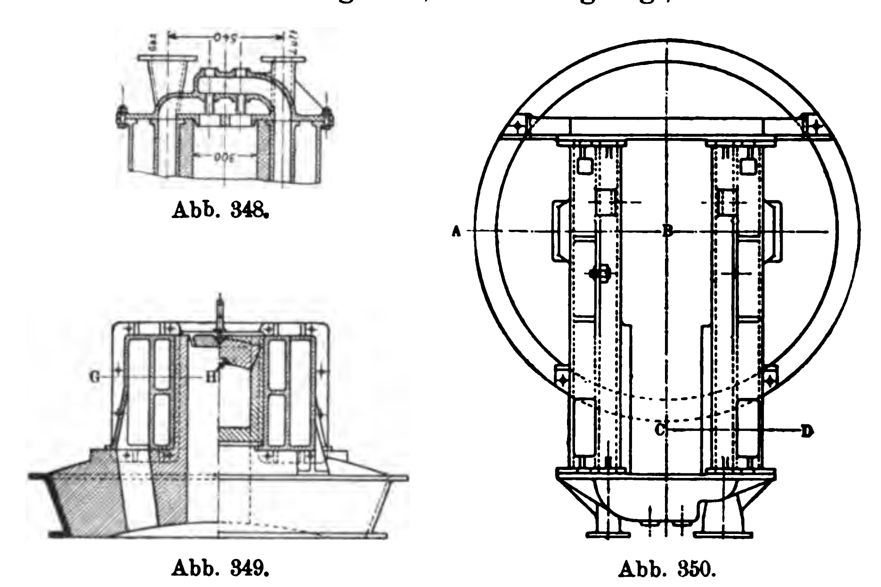


Abb. 348.

Abb. 349.

Abb. 350.

unbrauchbaren Blockendes, welcher bei dem gewöhnlichen Gießverfahren 30 bis 40 v. H. beträgt, bis auf 5 v. H. herabzumindern. Abbildung 352 zeigt einen durchschnittenen 15 t Block, welcher nach diesem Verfahren verdichtet wurde, Abbildung 353 (aus „Stahl und Eisen" 1904, Seite 393) einen gleichschweren ohne besondere Vorsichtsmaßregeln gegossenen Block, an welchem man deutlich den bis über ein Drittel der ganzen Blocklänge hinein ragenden Lunker erkennt.

Abänderungen des Riemerschen Verfahrens sind von Beikirch [1]) und von Knudsen [2]) angewendet worden.

Auch durch die bedeutende Hitzeentwickelung von Thermit [3]) hat man die Warmhaltung des Kopfes mit gutem Erfolg erreicht.

[1]) „Stahl und Eisen" 1905, Seite 865.

[2]) Jernkontorets Annaler 1905, Heft 9, auszüglich in „Stahl und Eisen" 1905, Seite 1213.

[3]) „Stahl und Eisen" 1907, Seite 1117.

Bei Erzeugung von Formguß sucht man dieses Ziel zu erreichen, indem man den Köpfen ein bedeutendes Gewicht bei ge-

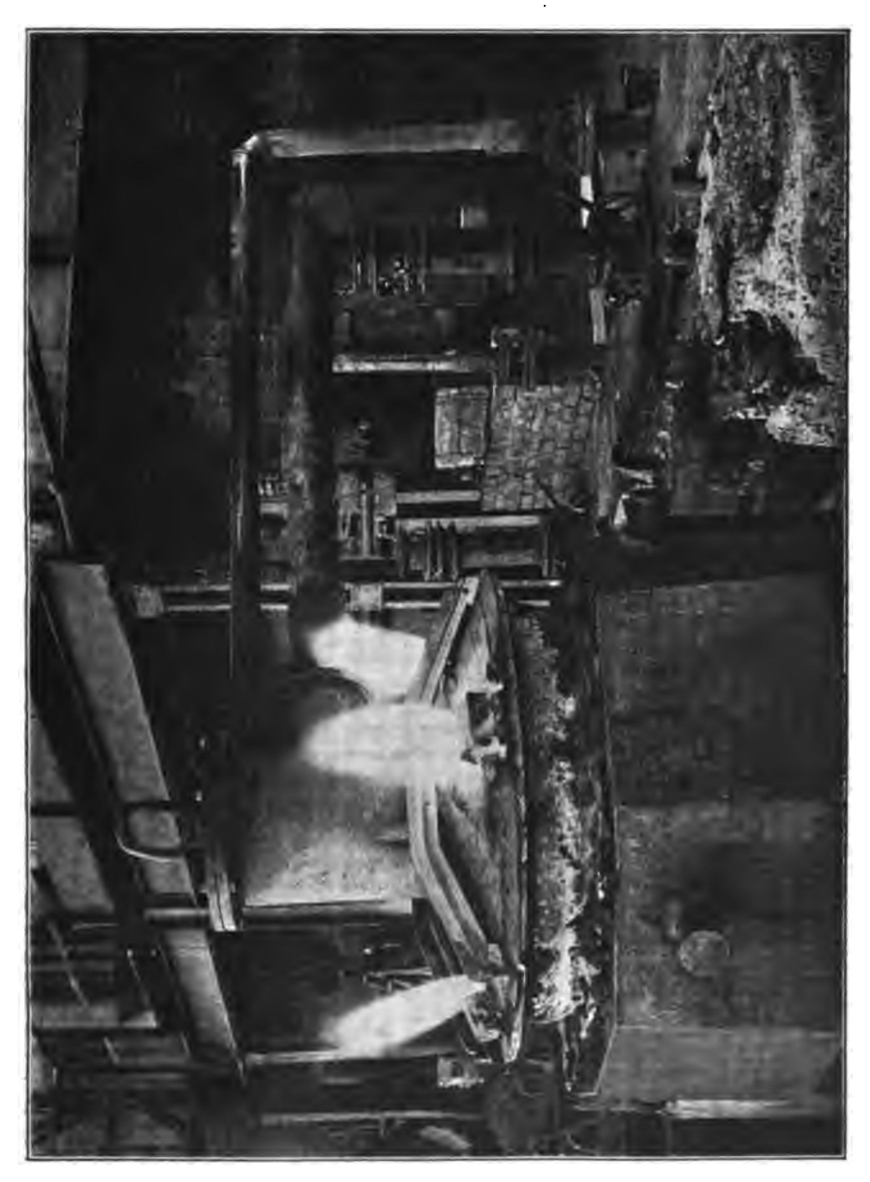


Abb. 351.

drungener Form gibt, und die Oberfläche des flüssigen Materials durch aufgeschüttete Holzkohlen oder durch Aufgießen von flüssiger Schlacke (Kupolofenschlacke) vor dem zu frühzeitigen Erstarren schützt. Besonders aber ist ein Nachgießen von flüssigem, hoch-

erhitztem Material — sofern dieses zur Verfügung steht — in den allmählich abkühlenden Kopf von größtem Nutzen.

Neben der Erzielung eines dichten Kopfes und der dadurch erreichbaren Verminderung des Abfalls wird durch das Flüssighalten des Kopfes auch eine Reinigung des Materials herbeigeführt, indem schädliche Beimengungen, insbesondere Phosphor und Schwefel, sich in dem am längsten flüssig bleibenden Teile anreichern, wie nachstehende Analysenreihen ergeben.



Abb. 352. Abb. 353.

Die Abbildungen 354 und 355 (aus „Stahl und Eisen" 1904 Seite 394) stellen zwei nach dem Riemerschen Verfahren verdichtete, durchschnittene Blöcke dar, auf deren Durchschnittsflächen die Probespäne an den mit Ziffern bezeichneten Stellen entnommen wurden. Ersterer ist ein mittelharter, letzterer ein harter Stahl, welcher die eingetretene Saigerung besonders deutlich erkennen läßt.

In Tabelle I ist die Probe Nr. 14, in Tabelle II die Probe Nr. 1 unmittelbar unter dem Lunker entnommen, und beide zeigen daher die bedeutende Anreicherung an Phosphor, Schwefel und

auch an Kohlenstoff, während die übrigen Proben dem Durchschnitt entsprechen.

Tabelle I[1]).

Nr.	C	Si	S	P	Mn
1	0,24	0,072	0,040	0,086	0,94
2	0,28	0,060	0,086	0,040	1,02
3	0,24	0,060	0,086	0,041	1,08
4	0,24	0,065	0,086	0,041	1,00
5	0,25	0,050	0,044	0,046	0,96
6	0,25	0,050	0,044	0,049	1,00
7	0,22	0,050	0,040	0,042	1,01
8	0,24	0,050	0,040	0,042	1,01
9	0,22	0,055	0,086	0,082	0,96
10	0,28	0,040	0,040	0,044	0,91
11	0,24	0,045	0,040	0,047	0,98
12	0,28	0,050	0,040	0,046	0,91
13	0,25	0,060	0,085	0,048	0,90
14	0,41	0,040	0,160	0,150	0,91
15	0,24	0,050	0,040	0,046	0,98
16	0,24	0,050	0,080	0,044	0,99
17	0,25	0,040	0,028	0,049	0,94

Tabelle II[1]).

Nr.	C	Si	S	P	Mn
1	0,78	—	0,18	0,117	0,77
2	0,50	—	0,057	0,066	0,78
3	0,89	—	0,088	0,085	0,78
4	0,87	—	0,080	0,081	0,72
5	0,84	—	0,027	0,080	0,72
6	0,84	—	0,028	0,028	0,87
7	0,85	—	0,028	0,025	0,88
8	0,88	—	0,028	0,022	0,87
9	0,84	—	0,026	0,028	0,87
10	0,87	—	0,026	0,028	0,88
11	0,87	—	0,024	0,026	0,87
12	0,68	—	0,080	0,026	0,89
Chargenprobe	0,87	0,074	0,026	0,081	0,82

Immerhin erfordert die spätere Entfernung des verlorenen Kopfes Arbeit, und der Kopf selbst kann nur durch erneutes Schmelzen (welches Brennstoffaufwand und Abbrand verursacht) wieder nutzbar gemacht werden. Wo daher nicht eine dringende Veranlassung zur Anwendung des verlorenen Kopfes vorliegt, sucht man die Anwendung gern zu vermeiden oder beschränkt wenigstens die Abmessungen des Kopfes auf die äußersten Grenzen.

3. Gießen von unten (steigender Guß). Statt von obenher in die Gußform zu fallen, strömt das Metall durch einen Kanal

[1]) „Stahl und Eisen" 1904, Seite 393.

am Boden ein, um von hier in der Gußform emporzusteigen. Der seitliche Zuleitungskanal muß etwas höher sein als die Gußform, damit das Metall in dieser emporsteigen kann, und er bleibt nach beendigtem Gusse mit Metall gefüllt, welches dort erstarrt.

In mehrfacher Weise vermag solcher aufsteigender Guß die Erzielung dichter Abgüsse zu erleichtern.

Läßt man flüssiges Metall in eine hohe Gußform von obenher einstürzen, so zerstäubt das zuerst unten ankommende Metall in rasch erstarrende Körner, welche von dem nachfolgenden Metalle emporgehoben werden. Jedes dieser Körner ruft in seiner unmittelbaren Umgebung wiederum eine plötzliche Abkühlung und dadurch eine Gasentwickelung hervor, bietet aber dem sich entwickelnden

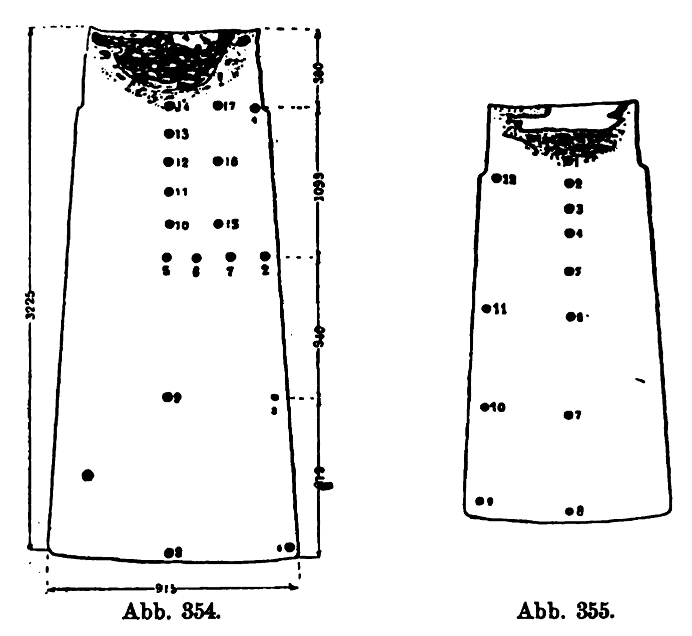


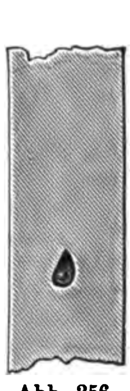
Abb. 354. Abb. 355.

Gasbläschen auch Gelegenheit zum Haften, d. h. verhindert es am Aufsteigen. Überziehen sich aber die Körnchen, wie es vorkommen kann, mit einem Häutchen oxydierten Eisens, ehe sie von dem nachfolgenden Metalle aufgenommen werden, so kann dadurch eine Einwirkung auf den Kohlenstoffgehalt des Eisens ausgeübt werden, welche Kohlenoxydbildung und somit die Entstehung eines Gasbläschens in der Umgebung des Körnchens zur Folge hat. Auf der Bruchfläche solcher Abgüsse sieht man dann gewöhnlich jene Körnchen am Boden der birnförmigen oder rundlichen Gasblase (Abb. 356). Diese Körnerbildung und somit die Ursache zur Entstehung solcher Blasen fällt weg, wenn das Metall vom Boden aus in gleichmäßigem Strahle in der Gußform aufsteigt.

Ist die Gußform oben offen, und wird das Metall von obenher eingegossen, so wird durch dieses Luft mit in die Gußform gerissen, welche neben den sich entwickelnden Gasen in dem

Metalle zurückbleibt und Blasenbildung verursachen kann. Auch dieser Übelstand wird vermieden, wenn man das Metall von untenher durch einen seitlichen Kanal zuströmen läßt, dessen Querschnitt so eng bemessen sein muß, daß er während des Gießens bis nahe zum Rande mit Metall gefüllt bleibt.

Besondere Wichtigkeit besitzt auch der Umstand, daß beim Gießen von unten die aufsteigende Bewegung des Metalls das Entweichen der schon entwickelten, aber an der gebildeten Kruste haftenden Gasblasen befördert. Auch in einem Wasserglase werden die an den Wänden haftenden Bläschen zum Aufsteigen gebracht, wenn das Wasser bewegt wird, und eine Bewegung nach oben muß am erfolgreichsten wirken. Diese Bewegung erschwert auch die Saigerung; Hohlräume wie in Abb. 342 auf Seite 226 III, in welche mit Vorliebe Saigerungserzeugnisse eintreten, können sich nicht


Abb. 356.

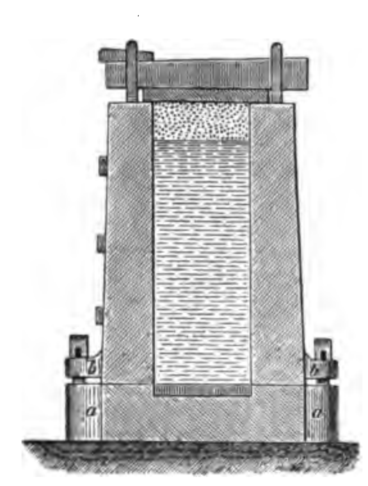


Abb. 357.

bilden, weil das Metall von untenher zuströmt und hier später als das oben befindliche Metall erstarrt, letzteres also nicht, wie bei dem abgebildeten Blocke, nach unten hin abgesaugt werden kann. Daher werden auch die geschilderten, auf der Anhäufung ausgesaigerter Körper in dem obern Hohlraum beruhenden übelen Folgen vermieden, welche beim Auswalzen eines solchen Blockes sich ergeben können.

Dieser Vorteile halber findet der Guß von unten häufige Anwendung, obschon die Kosten der Abgüsse sich dadurch erhöhen, zumal bei dem Gusse von Blöcken. Die Einrichtung der Gußformen wird umständlicher (vgl. unten: Gußformen), und das Metall, welches den Zuleitungskanal ausfüllt, kann nicht anders als durch erneutes Schmelzen zugute gemacht werden; aber der entstehende Ausschuß wird geringer, und jene Mehrkosten werden nicht selten hierdurch ausgeglichen.

4. Erstarrenlassen des gegossenen Metalls unter

hohem Drucke. Die Entwickelung der in einer Flüssigkeit gelösten Gase wird, wie bekannt ist, gehindert, wenn die Flüssigkeit einem entsprechend hohen Drucke ausgesetzt ist, und die bereits entwickelten Gase werden auf einen um so kleineren Raum zusammengedrängt, die Gasblasen im Innern werden also um so kleiner, unter je stärkerem Drucke das Metall erstarrt.

Wiederholt hat man versucht, diese Wirkung eines auf dem Metalle lastenden Druckes zur Erzielung dichter Flußeisenblöcke nutzbar zu machen. Die angewendeten Mittel zur Erzeugung dieses Druckes aber waren ziemlich verschieden.

Ein einfaches Mittel, um ein allzu starkes Steigen des in eine oben offene eiserne Gußform eingegossenen Flußeisens zu vermeiden, besteht darin, daß man die Gußform nicht ganz bis zum Rande mit dem flüssigen Metalle anfüllt, sondern einen Raum von 6 bis 10 cm Höhe frei läßt, alsdann trockenen Sand, gepulverten Lehm oder Masse auf die Oberfläche des noch flüssigen Eisens schüttet, so daß die Schüttung bis etwas über den Rand der Gußform hinausragt, einen eisernen Deckel darauf legt und mit Keilen festzieht. Abb. 357 zeigt diese Einrichtung. Die schmiedeeisernen Bügel, durch welche der Keil hindurchgesteckt wird, sind in die Gußform eingegossen. Die Einrichtung ermöglicht allerdings nur die Erzielung eines beschränkten Druckes. Ist die Gasentwickelung heftig, so kommt es vor, daß flüssiges Metall zwischen der Sandfüllung und dem Deckel herausgequetscht wird.

In dem Eisenwerke von Joseph Whithworth & Co. in Manchester wendet man Wasserdruck an, um die Gasentwickelung zu verhüten. Die Gußformen bestehen aus übereinander gesetzten und untereinander verbundenen Stahlringen, ausgekleidet mit feuerfestem Futter, in welchem aufsteigende Kanäle für die entweichenden Gase angebracht sind. Die mit flüssigem Metalle angefüllte Form wird auf einem fahrbaren Tische unter die Wasserdruckpresse geschoben, der senkrecht stehende, an der Unterseite mit feuerfester Masse bekleidete Druckkolben wird gesenkt und mit einem Druck von mehr als 600 kg auf 1 qcm gegen die Oberfläche des Metalls gedrückt, welches diesem Drucke 20 bis 45 Minuten, abweichend nach der Größe des Blockes, ausgesetzt bleibt.

Die solcherart gepreßten Blöcke zeigen in der Nähe der Achse gewöhnlich einen ziemlich beträchtlichen Hohlraum[1]), bei der Schwindung entstanden, deren Folgen durch das Pressen nicht beseitigt werden können; der Hohlraum ist mit brennbaren Gasen angefüllt, welche aus dem Metall austraten und sich hier ansammelten. Der Erfolg des Pressens ist demnach beschränkt, und in dem genannten Eisenwerke wird das Verfahren hauptsächlich dann benutzt, wenn ringförmige Körper (Radreifen, Luftkessel usw.) aus dem gegossenen Blocke hergestellt werden sollen und der mittlere undichte Teil durch Ausbohren entfernt wird. Bei der geraumen Zeit, während welcher die Blöcke dem Drucke ausgesetzt

---

[1]) Vergl. den unter Literatur erwähnten Bericht von W. Annable.

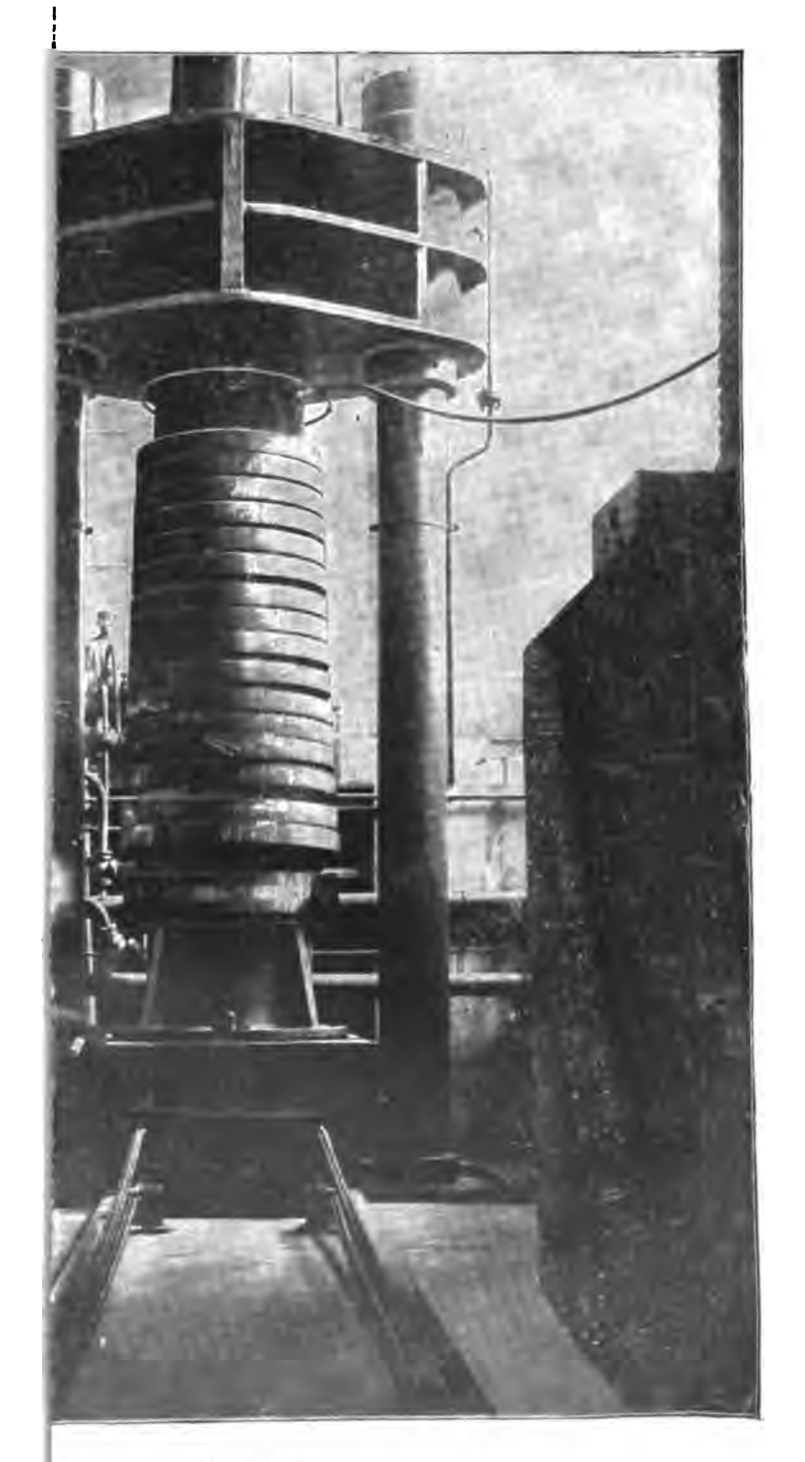


Abb. 359.

bleiben, würden für eine größere Erzeugung gepreßter Blöcke auch zahlreiche Pressen erforderlich sein, und die ganze Anlage würde dadurch ungemein kostspielig werden. Das Verfahren hat nur auf wenigen anderen Werken Eingang gefunden.

Erfolgreicher dürfte ein von dem Chefingenieur der Acieries de Saint Étienne, Harmet, erdachtes Verfahren sein, mit welchem derselbe auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1900 an die Öffentlichkeit trat. Harmet suchte die Entstehung der Lunker dadurch zu verhindern, daß er das im Erstarren befindliche Material durch Wasserdruck in die sich nach oben verjüngende Kokille hineinpreßte [1]).

Dadurch wurde von allen Seiten ein Druck auf das teigige Material ausgeübt, und der Wirkung des Schrumpfens und der Lunkerbildung vorgebeugt.

Abbildung 358 stellt die Vorrichtung im Schnitt, Abb. 359 in der äußeren Ansicht dar, wie sie auf dem Oberbilker Stahlwerk in Anwendung ist. Die durch aufgeschrumpfte Ringe verstärkte Kokille steht auf einem Wagen, welcher in einer Führung ein Druckstück trägt, das den beweglichen Boden der Kokille bildet. Ist die Kokille bis zu einem gewissen Abstand vom oberen Ende mit Stahl gefüllt, so wird sie unter die Presse gefahren, wo sie an dem oberen Preßhaupt ein Widerlager findet, während auf das bewegliche Bodendruckstück der Plunger der Presse wirken kann. Der Block wird somit in die konische Kokille hineingepreßt und einem von allen Seiten wirkenden Radialdruck ausgesetzt, welcher sich mit dem Vorschub des Blockes dauernd steigert.

Um auch auf die obere Fläche des Blockkopfes einen Druck auszuüben, ruht während dieser Zeit der Druck eines kleineren, in dem oberen Preßhaupt befindlichen, Plungers darauf, welcher derart bemessen ist, daß er vor dem Druck des unteren größeren Plungers zurückweicht.

Das Verfahren, welches eine kostspielige Anlage erfordert, und sich daher nur für Herstellung solcher Blöcke eignet, an welche in bezug auf Dichtigkeit die höchsten Ansprüche gestellt werden, wie z. B. für die Fabrikation von Geschützrohren und von schweren Schiffs- und Maschinenwellen, gibt, wie zahlreiche Versuche bestätigt haben, ausgezeichnete Resultate.

Versuchsweise hat man auch Dampf zur Erzeugung des Druckes benutzt [2]), oder Kohlensäure, aus einem Behälter mit flüssiger Kohlensäure entwickelt und über das eingeschlossene Metall geleitet [3]). Der Erfolg dieser Mittel ist jedoch niemals so befriedigend gewesen, um zur dauernden Anwendung zu veranlassen.

Somit ist überhaupt die Anwendung hohen, auf das erstarrende

---

[1]) Aus den Comptes rendus mensuels des réunions de la société de l'industrie minérale, April und Mai 1901, in „Stahl und Eisen" 1901, Seite 857 und Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft 1905, Seite 351.

[2]) Zeitschr. d. berg- und hüttenm. Ver. für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 329. D.R.P. Nr. 12073.

[3]) Bei Fr. Krupp versucht. D.R.P. Nr. 17056; „Stahl und Eisen" 1882, Seite 161.

Metall wirkenden Druckes zur Erzielung dichter Güsse nur vereinzelt geblieben.

5. Gießt man Blöcke für die spätere Verarbeitung, so kommt auch der Umstand in Betracht, daß die entwickelten Gase um so mehr Gelegenheit zum Entweichen finden, je langsamer die Erstarrung vonstatten geht, je größer also das Gewicht des Blockes ist. In der Tat ist es schwierig, kleine Blöcke zu gießen, welche nicht reichlich mit Gasblasen durchsetzt sind, und das jetzt sehr gebräuchliche Verfahren, schwere Blöcke zu gießen, welche erst auf dem Blockwalzwerke (Seite 144 III) vorgestreckt und dann später durchgeteilt werden, beruht wenigstens zum Teile auf diesem Umstande. Mit der Größe der Blöcke aber wächst der im Innern sich bildende Schwindungshohlraum und die Neigung zum Saigern, so daß ein Übermaß in dieser Beziehung für die Güte der Erzeugnisse eher schädlich als nützlich sein kann.

2. Die Giefsvorrichtungen.

Wenn größere Mengen Flußeisen in einem Male hergestellt werden, bedient man sich einer Gießpfanne, um das fertige Metall aufzunehmen, nach den einzelnen Gußformen zu befördern und hier auszugießen. Abb. 360 zeigt das Äußere einer solchen Gießpfanne mit der darunter stehenden Gußform. Die Pfanne wird aus Eisenblech von etwa 10 mm Stärke gefertigt, vor dem Gebrauche mit einer 70 bis 100 mm starken Schicht feuerfester Masse ausgestrichen oder mit feuerfesten Ziegeln ausgemauert, getrocknet und schließlich bis zum beginnenden Rotglühen erhitzt, indem man sie in umgekehrter Lage über ein Koksfeuer oder eine Gasfeuerung stellt. Die Ausfutterung hält mehrere Güsse aus, muß aber nach jedesmaliger Benutzung der Pfanne nachgesehen und, wenn erforderlich, ausgebessert werden. Die Entleerung erfolgt durch eine Öffnung im Boden in der Nähe der Wand, welche durch einen als Ventil wirkenden Stopfen verschlossen gehalten wird. In Abb. 360 ist die Stange *b*, an welcher der Stopfen *a* sitzt, soweit sie sich im Innern der Pfanne befindet, durch Punkte gezeichnet. Oberhalb des Pfannenrandes ist sie nach außen umgebogen und an einem Schieber befestigt, welcher in Führungen *c* und *d* mit Hilfe des Handhebels *f* auf und ab bewegt werden kann, so daß man imstande ist, die Ausflußöffnung zu schließen oder beliebig weit zu öffnen. Um die Entleerung zu befördern, gibt man dem Boden der Pfanne häufig eine Neigung nach der Auslaßöffnung hin.

Abb. 361 zeigt die Einrichtung des Auslasses im vergrösserten Maßstabe. Im Boden der Pfanne ist unten eine entsprechend weite Öffnung ausgespart und mit einem Ringe, welcher einen kurzen Auslaßstutzen bildet, eingefaßt. In diese Öffnung kommt die aus feuerfestem Ton in einer eisernen Form gefertigte und gut gebrannte Hülse *i*, Ausguß genannt, und wird mit feuerfester Masse umstampft. Sie ist zum Auswechseln eingerichtet, da sie bei jedem Gusse stark abgenutzt wird. Ihr Durchmesser wird um so reichlicher genommen, je höher die Schmelztemperatur des Metalls liegt.

n der schmiedeeisernen Ventilstange *b* wird der ebenfalls aus erfestem Ton gebrannte Stopfen *a* in der aus der Abbildung ernbaren Art und Weise befestigt. Die Stange selbst wird mit fester Masse umkleidet und getrocknet. *l* ist der Schieber, in Kopfe die Ventilstange mit Hilfe eines Bolzens befestigt und *d* sind, wie bei Abb. 360, die Führungen für den Schieber, Hebel zu dessen Bewegung.

fähr in der Mitte der Höhe der Pfanne ist ein starker iserner Ring *g* befestigt, an welchem zwei zum Tragen dienende Zapfen sich befinden.

ießpfanne kann, wie es in Eisengießereien üblich ist, es durch Handarbeit, Dampfkraft oder Elektromotoren

Abb. 360.

Abb. 361.

angetriebenen, auf hoch liegenden Trägern rollenden Laufkrans bewegt werden, an welchen sie in Drahtseilen hängt. Ein Beispiel hierfür ist unten in Abb. 404 gegeben. Ein solcher Laufkran ermöglicht die Bedienung zahlreicher Gußformen, welche innerhalb seines Bereichs an beliebiger Stelle Platz finden können. Dieser Vorteil wiegt schwer genug, um es zu erklären, daß Laufkrane für die Bewegung der Gießpfanne mehr und mehr Anwendung gefunden haben, und heute sowohl für Block- wie für Formgießereien bevorzugt werden.

Ältere Einrichtungen waren die Drehkrane. Die Pfanne befindet sich an dem vorderen Ende eines wagerechten Armes oder Auslegers, welcher auf dem Kopfe eines senkrecht beweglichen Wasserdruckkolbens befestigt ist und um diesen im Kreise herumbewegt werden kann. Die anzufüllenden Gußformen werden im Kreise, und zwar gewöhnlich in einer etwa 1 bis 1,8 m tiefen, durch

Mauerwerk begrenzten Gießgrube aufgestellt, in derem Mittelpunkte der Druckzylinder, eingelassen im Boden, sich befindet, und durch Drehung des Kranarmes wird die Pfanne nacheinander über die verschiedenen Gußformen gebracht.

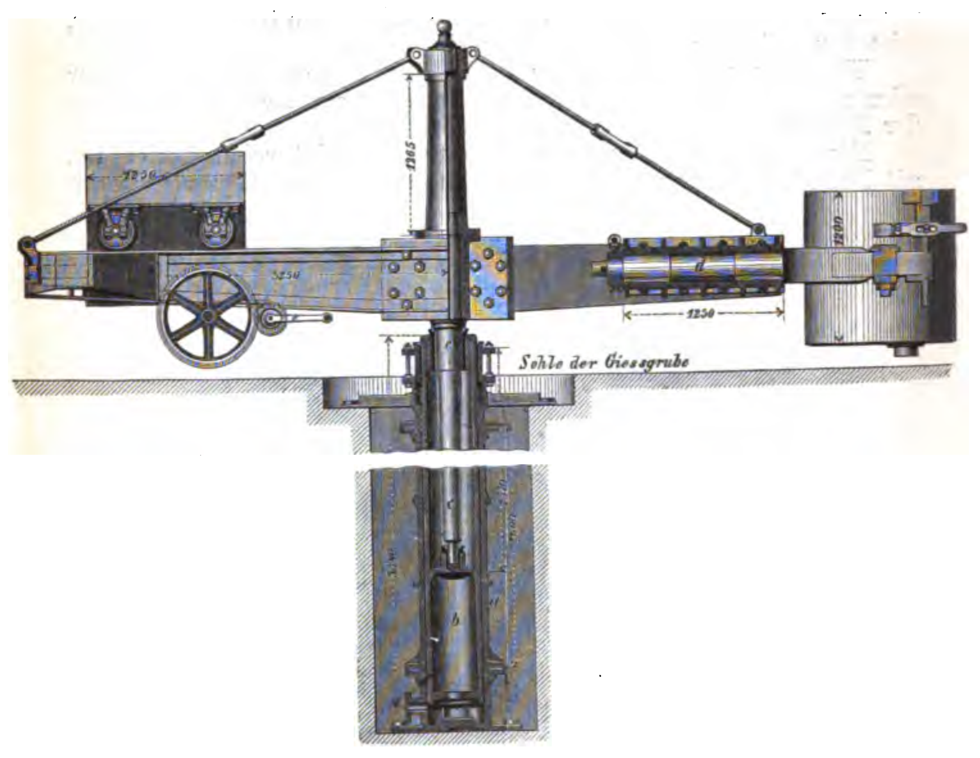


Abb. 362.

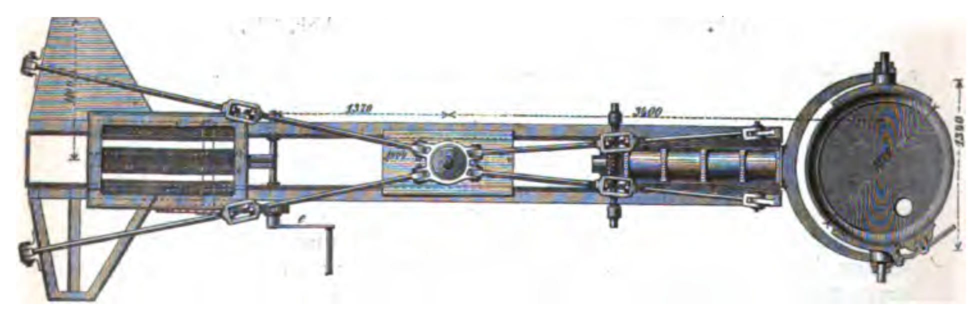


Abb. 363.

Die Abbildungen 362 und 363 zeigen in $^1/_{60}$ der wirklichen Größe einen in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gebauten Kran dieser Gruppe. In der Mitte steht in einem ausgemauerten Schachte der Druckzylinder *a*, welchem durch den unten

befindlichen seitlichen Rohrstutzen das von einem Druckwassersammler (Akkumulator) kommende Wasser zugeführt wird, wenn der Kolben *b* steigen soll; das Gewicht des Kolbens samt seiner Belastung drückt das Wasser aus dem Zylinder heraus, sobald der Zulaß geschlossen, der Auslaß geöffnet wird, und der Kolben sinkt. Die Führung des Kolbens in einer Stopfbüchse des Zylinders ergibt sich mit ausreichender Deutlichkeit aus der Abbildung. In dem hohlen Kolben nun ist die senkrechte Welle *c* drehbar gelagert, und an dieser ist das aus zwei parallelen Eisenblechträgern gebildete Querhaupt (der Kranausleger) befestigt, welches noch durch vier Anker in der aus der Abbildung ersichtlichen Art und Weise in seiner Lage festgehalten wird. An dem rechten Arme des Auslegers ist die Gießpfanne befestigt. Sie ruht mit ihren Zapfen in einem kräftigen Bügel an einer wagerechten Welle *d*, welche zwischen den beiden Trägern in einer langen Gußeisenhülse drehbar gelagert ist. Auf dem entgegengesetzten, aus der Hülse herausragenden Ende der Welle ist ein Schneckenrad befestigt, welches durch den Eingriff einer oberhalb gelagerten Schnecke gedreht werden kann und seine Drehung auf die Gießpfanne überträgt. Die Schnecke erhält ihre Bewegung durch eine über das vierkantig geschmiedete Ende ihrer Welle gesteckte Kurbel. Diese Einrichtung ist notwendig, teils um die Pfanne beim Anwärmen auf den Kopf stellen zu können, teils auch, um eine Entleerung zu ermöglichen, falls einmal bei zu niedriger Temperatur des Eisens sich die Öffnung im Boden mit erstarrtem Metalle zugesetzt haben sollte.

Auf dem entgegengesetzten Arme des Auslegers befindet sich zur Ausgleichung des von der Pfanne ausgeübten einseitigen Druckes ein Gegengewicht in Form eines vierrädrigen, eisernen, nach Bedarf beschwerten Wagens, welcher, je nachdem die Pfanne stärker oder weniger stark gefüllt ist, weiter oder näher von der Drehungsachse eingestellt wird. Zur Verschiebung dient eine unter dem Wagen befindliche Zahnstange, welche von der Kurbel *e* aus bewegt wird. Um jedoch den Nachteil der einseitigen Belastung noch mehr abzumindern, hat man bei neueren Kranen dieser Gattung häufig dem Druckkolben eine Verlängerung nach oben gegeben und deren Ende in dem Dachstuhl geführt; oder man hat statt des Kolbens eine im Boden und im Dachstuhl gelagerte eiserne Kransäule angeordnet, daß nicht diese, sondern der Zylinder durch den Wasserdruck gehoben wird. Der freie obere Zylinderquerschnitt ist, damit der Zweck erreicht werde, größer als der untere, und der Zylinder trägt nun den Ausleger samt Gießpfanne [1]).

Die Bewegung des Auslegers im Kreise wird bei dem abgebildeten Krane durch Haken bewerkstelligt, mit denen Arbeiter die Arme erfassen.

Bei manchen Kranen dieser Gattung ist die Pfanne auch in radialer Richtung verstellbar, d. h. man kann sie in verschiedenen Abstand vom Mittelpunkte des Krans bringen, und man erhält da-

[1]) Näheres über diese verschiedenen Bauarten: „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 667; Ad. Ernst, Die Hebezeuge, 3. Aufl., Berlin 1899, Band 2, Seite 693.

durch die Möglichkeit, mehrere, in konzentrischen Kreisen aufgestellte Reihen von Gußformen damit anzufüllen.

Ein solcher Drehkran hat den Vorteil einfacher Anordnung und einfacher Handhabung. Je größer aber die Zahl der Gußformen ist, welche aus der Pfanne gefüllt werden sollen, desto größer muß der Durchmesser des Kreises sein, in welchem sie aufgestellt werden, und der größere Kreis bedeutet nicht allein einen Mehrverbrauch an Grundfläche innerhalb des Gießraumes, welcher für andere Zwecke verloren geht[1]), sondern erschwert auch nicht unerheblich die Herstellung des Kranes. Diese Übelstände steigern sich, wenn ein rascher Betrieb stattfindet, bei welchem schon eine zweite Reihe Gußformen aufgestellt sein muß, ehe die zuvor gefüllten entleert und entfernt werden konnten, man also den doppelten oder dreifachen Raum als im anderen Falle verfügbar haben muß.

In Rücksicht hierauf hat man bei neueren Anlagen für große Erzeugungen mit Vorteil die zweite Gruppe von Gießkranen ohne Drahtseile oder Ketten zur Anwendung gebracht: Rollkrane oder Gießwagen, welche zu ebener Erde auf Schienen fortbewegt werden und solcherart eine beliebig lange Reihe von Gußformen zu bedienen imstande sind. Ein solcher größerer Gießwagen mit Dampfbetrieb, von der Märkischen Maschinenbauanstalt in Wetter a. d. Ruhr in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gebaut, ist in Abb. 364 und 365 auf Seite 251 abgebildet.

Auf dem starken, von sechs Stahlrädern getragenen Wagen befindet sich der Wasserdruckzylinder *b*, dessen hohler Kolben auf dem Wagen feststeht, während der Zylinder gehoben wird, sobald durch den Kolben Wasser zugeleitet wird. Die Zuführung des Wassers erfolgt durch die beiden Pumpen *cc*, welche das Wasser aus dem unter dem Wagen befindlichen Behälter *d* entnehmen und von der mit ihnen gekuppelten, in Abb. 365 sichtbaren Zwillingsdampfmaschine *ee* aus betrieben werden. Auch die Rohrleitung hierfür ist in Abb. 365 sichtbar.

An dem Druckzylinder ist nun das Querhaupt oder der Ausleger *f* befestigt, um mit ihm gehoben und gesenkt zu werden. Er ist ähnlich wie derjenige des zuvor beschriebenen Drehkrans aus schmiedeeisernen Trägern mit entsprechenden Verbindungstücken hergestellt und gestattet eine Drehung im Kreise um 180 Grad für den Fall, daß die Gußformen an der einen Seite des Wagens, die Öfen an der anderen Seite sich befinden. Das vordere Ende des Auslegers trägt die Gießpfanne, das andere, nach rückwärts verlängerte Ende dient zur Aufnahme des Gegengewichts *g*.

Der Abstand der Gießpfanne vom Druckzylinder ist veränderlich gemacht, so daß man zwei Reihen Gußformen damit anfüllen kann. Zu diesem Zwecke ruht die Pfanne mit ihren Zapfen in zwei kleinen Wagen *h*, welche mit wagerechten Zugstangen gekuppelt sind. Letztere endigen in je einer Zahnstange, und beide Zahnstangen lassen sich von dem Griffrade *k* aus durch Vermittelung

[1]) Man vergegenwärtige sich, daß die Fläche des Kreises im quadratischen Verhältnisse mit seinem Halbmesser zunimmt.

der in Abb. 365 sichtbaren Getriebe leicht vor- und rückwärts bewegen, hierbei die Gießpfanne mitnehmend. Die Verstellbarkeit der

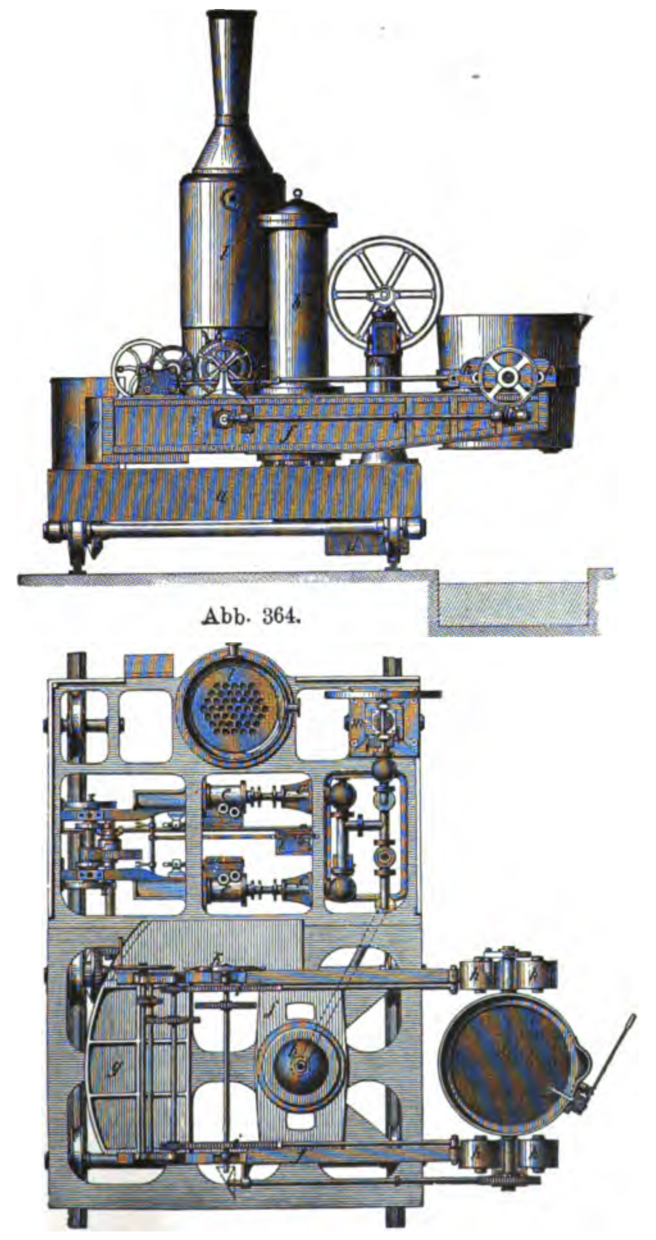


Abb. 364.

Abb. 365.

Gießpfanne in wagerechter Linie beträgt 1 m, die Hubhöhe des Auslegers ebenfalls 1 m.

Das Kippen der Pfanne geschieht durch Vermittelung einer Schnecke, welche in ein auf dem einen Zapfen der Pfanne befestigtes Schneckenrad eingreift. Beide Abbildungen lassen diese Einrichtung erkennen. Die Welle der Schnecke ist in ihren Lagern verschiebbar, so daß ihr Eingriff auch bei geänderter Stellung der Pfanne unbeeinträchtigt bleibt.

Die Kolbenstangen der Dampfzylinder *e e* sind nach rückwärts verlängert und wirken hier durch Schubstangen und Kurbeln auf Getriebe, von welchen aus das mittlere Laufräderpaar des Wagens Drehung empfängt, sobald Vorwärtsbewegung auf den Schienen stattfinden soll. Die anderen zwei Laufräderpaare wirken als Rollen ohne selbständige Bewegung. Mit Hilfe einer Klauenkuppelung kann diese Bewegung leicht ausgerückt werden, wenn der Wagen stehen, die Maschine aber zum Betriebe der Pumpen benutzt werden soll.

l ist ein senkrechter Röhrenkessel zur Erzeugung des erforderlichen Dampfes. *m* ist eine Dampfpumpe, teils zur Speisung des Kessels bestimmt, teils auch an Stelle der schon erwähnten Pumpen zur Zuführung von Druckwasser nach dem Krane dienend, während die Dampfmaschine zur Bewegung des Wagens benutzt wird und jene Pumpen ausgerückt sind. Die Zuführung von Wasser durch die Pumpe *m* beschränkt sich hierbei auf den Ersatz des durch die Stopfbüchse des Druckkolbens entweichenden Wassers, um ein Sinken des Zylinders zu verhindern.

Der abgebildete Gießwagen ist für eine Tragfähigkeit von 10 t berechnet; der von den Pumpen ausgeübte Druck beträgt 20 kg auf 1 qcm. Die Dampfmaschine und Räderwerk sind durch geriffelte Bleche, mit denen der Wagen belegt ist, gegen Beschädigung durch umhersprühende Funken, Schlackenteilchen usw. geschützt. Nach denselben Grundsätzen eingerichtete Gießwagen für Belastungen bis zu 25 t und darüber sind auf zahlreichen Werken in Benutzung. Neuerdings hat man jedoch statt ihrer mehrfach Gießwagen mit elektrischem Antriebe eingeführt. Der Wagen trägt mehrere Elektromotoren, durch deren Vermittelung das Heben und Senken des Auslegers nebst Gießpfanne, seine Drehung um 180 Grade und die Fortbewegung auf den Schienen erfolgt. Die Anordnung einer Dampfmaschine nebst Dampfkessel und eines Wasserdruckzylinders wird hierdurch entbehrlich und die ganze Anordnung einfacher [1]).

Auch für kleinere Betriebe benutzt man vielfach Gießwagen, deren Bewegung aber in Anbetracht der geringeren erforderlichen Leistung durch Handbetrieb (Kurbel und Getriebe) erfolgt. Wenn ein Heben und Senken der Pfanne nicht erforderlich ist, genügt ein noch einfacherer Gießwagen, auf dem die Pfanne in Zapfen hängt. Die Gußformen werden dann in einer Vertiefung unterhalb des Wagens aufgestellt [2]).

---

[1]) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 643; 1901, Seite 275.

[2]) Abbildung eines solchen Gießwagens: „Stahl und Eisen“ 1900, Tafel 16 eines Gießwagens, welcher sowohl für Hand- als für Dampfbetrieb eingerichtet ist: „Stahl und Eisen“ 1892, Tafel 12.

Die Bewegung der Gießpfanne mit Hilfe eines Krans oder Gießwagens auf größere Entfernungen bleibt jedoch immerhin beschwerlich, und der Übelstand wächst mit dem Gewichte des zu befördernden Metalls. Er wird vermieden, wenn man nicht die Gießpfanne, sondern die Gußformen bewegt, indem man sie auf eiserne Wagen stellt, welche auf Schienen laufen und durch eine Lokomotive oder elektrischen Antrieb bewegt werden können. Ein einfach eingerichteter Kran genügt in diesem Falle zum Heben der Gießpfanne und zu ihrer Beförderung von der Stelle, wo sie gefüllt wird, bis über die Gußformen. Auf verschiedenen neueren Werken findet der Betrieb in dieser Weise statt [1]).

3. Die Gufsformen.

Gemäß der Beschaffenheit des für die Gußformen verwendeten Stoffs lassen sich zwei Gruppen unterscheiden.

Die eine umfaßt solche Gußformen, welche aus einem bildsamen, nichtmetallischen Stoffe mit Hilfe eines Modells oder einer Schablone hergestellt — „geformt“ — werden. Sie finden da Verwendung, wo man Formguß erzeugen will, Gußwaren, die als Gebrauchsgegenstände dienen können, ohne noch eine Veränderung ihrer Form durch Walzen, Schmieden, Pressen zu erfahren. Man gießt in dieser Weise zahlreiche Bau- und Maschinenteile, welche eine größere Festigkeit erhalten sollen, als wenn man sie aus Gußeisen fertigen wollte: Getriebe, Kurbeln, Laufräder, Schiffssteven von oft ansehnlichem Gewichte, Wasserdruckzylinder und viele andere Gegenstände [2]).

In diesen Fällen ist es also besonders wichtig, dichten, von Hohlräumen freien Guß zu erzielen, und die oben erwähnten Mittel zur Erreichung dieses Zieles, insbesondere die Regelung der chemischen Zusammensetzung und Anwendung eines verlorenen Kopfes, müssen mit doppelter Sorgfalt zur Anwendung gebracht werden.

Metallene Gußformen würden für diesen Zweck unverwendbar sein. Teils würde in zahlreichen Fällen die Schwindung des Ab-

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 1101, 1103; 1902, Seite 645. Schon in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts stellte man auf manchen Werken die Gußformen auf Wagen, aber man beging den Fehler, sie unter Umgehung der Benutzung einer Gießpfanne unmittelbar aus dem Erzeugungsofen zu füllen. Die Blöcke aus den zuerst gefüllten Gußformen hatten hierbei oft eine wesentlich andere Zusammensetzung als die aus den zuletzt gefüllten.

[2]) Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts verstand man nicht, flüssiges schmiedbares Eisen durch Gießen zu Gebrauchsgegenständen zu verarbeiten. Die Gasentwickelung beim Gießen, die starke Schwindung, endlich auch die hohe Schmelztemperatur des Metalls, welche beim Eingießen in Formen eine rasche Erstarrung herbeiführt, die vollständige Ausfüllung der Gußformen erschwert und die Herstellung von ausreichend widerstandsfähigen Gußformen schwieriger macht, stellten sich einer solchen Verwendung des Eisens (Stahles) entgegen. Jacob Meyer, der Begründer der Bochumer Gußstahlfabrik war es, welcher zuerst diese Schwierigkeiten überwand und im Jahre 1851 aus Stahl gegossene Glocken lieferte. Auf der Gewerbeausstellung zu Düsseldorf im Jahre 1852 erhielt das genannte Eisenwerk für solche Glocken die silberne Preismünze.

gusses innerhalb der Gußform gar nicht möglich sein, ohne daß ein Zerreißen stattfände, teils würde die raschere Abkühlung, welche die metallene Gußform veranlaßt, auch eine heftigere Gasentwickelung zur Folge haben, und es würde schwieriger sein, dichte Güsse zu erzielen; ja, in Anbetracht der verhältnismäßig dünnen Querschnitte, welche viele solcher Abgüsse besitzen, würde eine vollständige Ausfüllung der Gußform oft durch vorzeitige Erstarrung des eingegossenen Metalls unmöglich gemacht werden.

Das seit Jahrhunderten ausgebildete Verfahren der Gußwarendarstellung aus Roheisen zeigte den Weg zur Auswahl eines geeigneten Formstoffs auch für diesen Zweck; aber die höhere Temperatur des geschmolzenen schmiedbaren Eisens machte strengere Anforderungen als dort an die Beschaffenheit des Formstoffes erforderlich. Gußformen aus nassem Formsande, die, ohne getrocknet zu werden, in den Eisengießereien vielfach Verwendung finden, sind für diesen Fall nur selten benutzbar. Man muß einen Stoff wählen, welcher, nachdem er im feuchten und dadurch bildsamen Zustande zum Einformen Verwendung gefunden hat, eine starke Trocknung in hoher Temperatur erträgt, ohne an Festigkeit zu verlieren.

Der üblichste Formstoff ist Masse (Seite 189 I), bestehend aus feuerfestem Ton mit Zusatz von so viel Magerungsmitteln, daß er die Eigenschaft verliert, beim Trocknen stark zu schwinden. In Rücksicht auf den Umstand, daß die Menge des frisch zugesetzten Tones weit geringer ist als die Menge der als Magerungsmittel dienenden Körper, läßt sich die Masse auch bezeichnen als ein Gemisch von feuerfesten, beim Trocknen und Brennen nicht schwindenden Körpern in Körnerform, insbesondere von schon gebranntem feuerfestem Ton, mit so viel frischem Ton, daß das Ganze, mit etwas Wasser angefeuchtet, Bindekraft bekommt, d. h. sich formen läßt. Man verwendet als Grundbestandteile für die Bereitung der Masse die schon benutzten Gußformen, d. h. alte Masse, welche durch das stattgehabte Brennen die Eigenschaft zu schwinden, zugleich aber die Fähigkeit verloren hat, durch Befeuchtung mit Wasser bildsam zu werden; auch gemahlene Schmelztiegelscherben und dergleichen mehr. Hierzu fügt man so viel frischen feuerfesten Ton, als eben erforderlich ist, das Gemenge bildsam zu machen. Mitunter setzt man gewisse Mengen Graphit, Holzkohle oder Koks dem Gemische zu. Man beabsichtigt damit, teils die Masse durchlässiger für Gase, nachgiebiger für die Schwindung des Metalls zu machen, teils auch das Zusammensintern und das Festbrennen der Masse an dem Abgusse zu erschweren.

Auch reiner Quarzsand, dem man durch Beimischen organischer Körper (Melasse, Mehl) oder feuerfesten Tons (z. B. auf 90 Teile Quarzsand 10 Teile Ton) die erforderliche Bildsamkeit verleiht, ist ein gut bewährter Formstoff für den in Rede stehenden Zweck.

Die Gußformen werden nach ihrer Herstellung in Trockenkammern getrocknet und mitunter bis zur beginnenden Rotglut erhitzt, um den Wassergehalt zu verflüchtigen. Man gießt in die noch warme Gußform das Metall ein.

Die Herstellung der Gußformen geschieht im wesentlichen in

derselben Weise wie die Herstellung der Gußformen in den Eisengießereien. Eine Beschreibung des Verfahrens gehört nicht in den Rahmen des vorliegenden Werkes und kann in jedem Handbuche der Eisengießerei nachgesehen werden. Immerhin muß bei der Herstellung auf die höhere Erstarrungstemperatur und stärkere Schwindung des Flußeisens im Vergleiche zu der des Gußeisens Rücksicht genommen werden. Die Eingüsse müssen stärker genommen und in größerer Zahl angebracht werden, ebenso die verlorenen Köpfe.

Die Gußformen aus bildsamem Stoffe aber, welche für Formgußdarstellung unentbehrlich sind, lassen sich nur für einen einmaligen Guß benutzen. Beim Gusse selbst, bei der Schwindung des Metalls und bei dem Herausnehmen des Abgusses werden sie beschädigt, und für jeden neuen Guß müssen sie neu hergestellt werden, wie es ja auch bei der Herstellung von Abgüssen aus anderen Metallen in derartigen Gußformen der Fall ist.

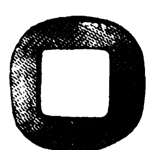
Dieser Nachteil der Gußformen aus bildsamem Stoffe wird bei der zweiten Gruppe von Gußformen vermieden, welche aus Gußeisen, seltener aus Stahl gegossen werden. Sie ermöglichen nur die Herstellung einfach gestalteter Abgüsse, deren Zusammenziehung nach dem Gusse nicht durch die Wände der Gußform behindert ist, und deren Querschnittsabmessungen reichlich genug sind, daß nicht vorzeitige Erstarrung des eintretenden Metalls eintrete, ehe die Gußform ausgefüllt ist. Man benutzt sie deshalb nur zur Herstellung jener Blöcke, welche für die weitere Verarbeitung durch Hämmern oder Walzen bestimmt sind.

Man gibt diesen Blöcken gewöhnlich vierseitigen Querschnitt mit abgerundeten Ecken. Der obere Durchmesser ist ein wenig kleiner als der untere, wodurch das Abheben der Gußform von dem erstarrten Blocke erleichtert wird, und letzterer besitzt daher die Form einer abgestumpften Pyramide, deren Seitenflächen jedoch so schwach geneigt sind, daß eine fast prismatische Form entsteht.

Nicht ohne Wichtigkeit ist das Verhältnis des Durchmessers des Blockes zur Höhe. Nimmt man für ein vorgeschriebenes Gewicht den Durchmesser klein im Verhältnis zur Höhe, so wird dadurch die spätere Arbeit des Ausstreckens auf einen geringeren Querschnitt verringert, aber es ist in den dünneren Querschnitten schwieriger, dichten Guß zu erzielen, und jene Verbesserung der Eigenschaften des Eisens, welche mit der mechanischen Verarbeitung Hand in Hand geht, fällt geringer aus, wenn diese Verarbeitung eingeschränkt wird. Gießt man umgekehrt den Block allzu dick bei geringerer Höhe, so verteuert man nicht allein die spätere Bearbeitung, sondern es können auch, besonders beim Gießen harten Stahls, wegen der größeren Schwindung des Umfanges Risse entstehen, welche den Block unbenutzbar machen. Gewöhnlich ist das Verhältnis der Breite (Seitenlänge) zur Höhe des Blockes gleich 1 : 2 bis 1 : 3, wobei man dann für die Höhe der Gußform noch etwa 10 cm hinzurechnet, damit diese nicht ganz bis zum Rande gefüllt zu werden braucht, um das erforderliche Metall aufzunehmen. Im übrigen spricht die spätere Verwendung der Blöcke, die Größe der vorhandenen Kaliber usw. hierbei mit.

Eine Gußform für Flußeisenblöcke erhält demnach ihre einfachste Gestalt, wenn man sie in einem Stücke, oben und unten offen, herstellt und beim Gießen eine ebene Platte als Unterlage der Gußform benutzt. Wo die Gußformen nicht verkeilt werden sollen oder wo die Anwendung eines anderen Mittels zur Erzielung von Druck nach dem Gießen nicht beabsichtigt ist, genügt eine solche einfache Einrichtung der Gußformen ihrem Zwecke.

Soll aber Druck von obenher angewendet werden, etwa durch Aufschütten von Sand und Festkeilen eines Deckels, so muß die Gußform mit einem besonderen Boden versehen sein, der fest mit ihr verbunden werden kann. Die auf Seite 243 III dargestellte Gußform Abb. 357 ist in dieser Weise eingerichtet. Das Bodenstück ist mit seitlich angegossenen Ohren *a* versehen, in welchen schmiedeeiserne, aufrecht stehende Dübel befestigt sind. Letztere endigen oben in einem vierseitig geschmiedeten, mit Keilöffnung versehenen Kopfe, welcher zwischen zwei an dem Oberteile angegossenen Vorsprüngen *bb* hindurchgeht, und die Verbindung wird durch Keile bewerkstelligt, wie die Abbildung erkennen läßt. Die Flächen des Oberteiles und Bodens müssen gut aufeinander schließen. Damit der Boden durch das hineinstürzende Metall nicht allzu rasch ausgefressen werde, bringt man wohl, wie in der Abbildung ersichtlich ist, an seiner oberen Seite eine Aussparung von 20 bis 30 mm Tiefe an, welche mit feuerfester Masse ausgefuttert wird. Die Anwendung solcher auf der Bodenplatte befestigter Gußformen ist jedoch jetzt selten.


Abb. 366.

Die Wandstärke der Gußformen beträgt meistens, abweichend nach ihrer Größe, 60 bis 180 mm[1]). Um sie vor dem Reißen zu schützen oder auch, um sie noch benutzen zu können, wenn sie bereits gerissen sein sollten, umgibt man sie bisweilen mit umgelegten Ankern.

Erfahrungsmäßig entstehen die Risse zuerst nicht in den Ecken, sondern am unteren Rande in der Mitte der Seiten der Form. Man verstärkt deshalb bisweilen die Seitenwände, indem man der Gußform den in Abb. 366 gezeichneten Querschnitt gibt.

Auch eine Herstellung der Gußform aus zwei gleichen Hälften, deren senkrechte Trennungsebene durch zwei gegenüberliegende Ecken geht, ist versucht worden, um das Reißen zu erschweren. Die beiden Hälften sind mit nach außen vorspringenden Laschen versehen und werden durch Dübel und Keile verbunden. Die Herstellung wird aber dadurch kostspieliger, die Hälften verziehen sich leicht und passen dann nicht mehr zusammen[2]).

Will man steigenden Guß anwenden (Seite 241 III), so ist eine besondere Vorrichtung hierfür erforderlich. Gewöhnlich stellt man in diesem Falle mehrere Gußformen um ein gemeinschaftliches Eingußrohr, von welchem aus durch wagerechte Kanäle das Eisen den einzelnen Gußformen zuströmt. Die Kanäle werden aus be-

---

[1]) Einige nähere Angaben hierüber: „Stahl und Eisen" 1899, Seite 13. (O. Simmersbach.)

[2]) „Stahl und Eisen" 1907, Seite 1297.

sonders hierfür gefertigten feuerfesten Ziegeln hergestellt; auch das Eingußrohr wird mit feuerfesten Ziegeln ausgekleidet, damit das flüssige Eisen nicht frühzeitig erstarre. Abb. 367 und 368 zeigen eine solche Einrichtung. In der Mitte steht der Einguß, höher als die Gußformen, damit diese ohne Schwierigkeit angefüllt werden. Ringsherum stehen vier, bisweilen auch acht oder noch mehr Guß-

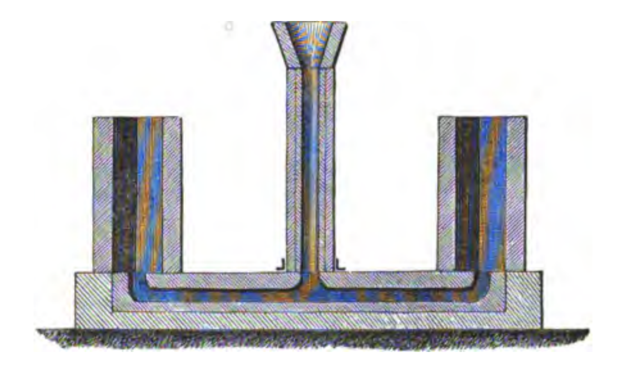


Abb. 367.

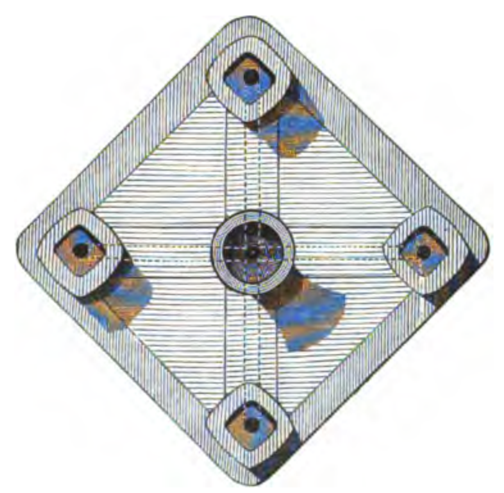


Abb. 368.

formen. Als Unterlage für das Ganze dient ein starker Gußeisenrahmen, in welchen die feuerfesten Ziegeln mit den Zuflußkanälen für das flüssige Metall eingesetzt sind. Statt der oben offenen Gußform wendet man bei diesem Gießverfahren mitunter solche an, welche oben geschlossen und an der höchsten Stelle nur mit einer kleinen Öffnung zum Austreten der Luft und der sich entwickelnden Gase versehen sind. Man beabsichtigt dadurch, ein

ruhigeres Aufsteigen des Metalls in der Form zu bewirken und die Berührung mit der äußeren Luft zu beschränken.

Die Kanäle im Boden müssen nach jedem Gusse erneuert werden.

Sämtliche eiserne Formen erhalten, ehe sie in Benutzung genommen werden, einen dünnen Überzug, um vor der unmittelbaren Einwirkung des eingegossenen Metalls geschützt zu sein. Man benutzt dazu Graphit, mit etwas Tonwasser angerührt, Kalkwasser oder dergleichen. Vor der Benutzung müssen die Formen angewärmt werden, wenn sie nicht etwa noch von dem vorausgegangenen Gusse her warm sein sollten. Eine eiserne Gußform kann 50 bis 100 Güsse aushalten.

Für die Aufstellung und das Heben der Gußformen und Blöcke benutzt man einfach eingerichtete Krane.

4. Die Flußeisendarstellung aus Erzen.

Wenn man Roheisen mit entsprechenden Gewichtsmengen von Eisenerzen oder eisenreichen Schlacken in so hoher Temperatur schmelzt, daß durch den Kohlenstoff-, Silicium- und Mangangehalt des Roheisens nicht allein der Eisenoxydgehalt der Erze oder Schlacken zu Oxydul, sondern auch der Eisenoxydulgehalt zu metallischem Eisen reduziert wird und das Erzeugnis flüssig bleibt, erfolgt Flußeisen[1]). Als Abart anderer Verfahren findet diese Erzverarbeitung mitunter Verwendung, und bei Besprechung jener Verfahren (Tiegelstahlerzeugung, Martinschmelzen) wird sie ausführlicher erwähnt werden.

Verschiedene Versuche sind jedoch auch gemacht worden, um ohne Mitverwendung von Roheisen ausschließlich aus Erzen Flußeisen zu erzeugen.

Bei starkem Rohgange im Hochofen erfolgt mitunter ein hochgrelles Eisen mit so niedrigem Kohlenstoffgehalte, daß es als harter Stahl gelten könnte. Auf die Dauer läßt sich jedoch ein solcher Betrieb nicht fortführen. Die Temperatur des Ofens sinkt in einem Maße, daß alsbald ein Einfrieren eintritt, wenn nicht Abhilfe geschaffen wird, und die stärkste Winderhitzung ist allein nicht imstande, hier zu helfen, sondern das Verhältnis des Brennstoffs zum Erz muß erhöht werden. Hierdurch wird nun die Reduktion und Kohlung befördert, und es entsteht wieder Roheisen. Die Schwierigkeiten würden noch größer sein, wenn man versuchen wollte, statt jenes ausnahmsweise im Hochofen erfolgenden, wenig brauchbaren, immerhin noch verhältnismäßig kohlenstoffreichen Eisens ein noch kohlenstoffärmeres darzustellen. Im Stückofen, welcher seiner Form nach als kleiner Hochofen betrachtet werden kann, vermeidet man das Einfrieren, indem man davon absieht, einen ununterbrochenen

[1]) Schweißeisendarstellung in dieser Weise würde wegen der zur Zerlegung des Eisenoxyduls erforderlichen hohen Temperatur nur in beschränktem Maße möglich sein. Hier wirkt zwar auch der Sauerstoffgehalt des Oxyds Fe_2O_3 als wichtigstes Oxydationsmittel auf die auszuscheidenden Körper, aber aus der Reduktion des Eisenoxyds geht nur Eisenoxydul, nicht metallisches Eisen hervor.

Betrieb zu führen, und nur immer kleine Einsätze schmelzt, worauf der Ofen ausgeräumt wird; aber das Erzeugnis ist Schweißeisen. Die für Flußeisenerzeugung notwendige höhere Temperatur würde auch hier nicht ohne Vermehrung des Brennstoffs erzielt werden können, und diese Vermehrung des Brennstoffs würde eben wieder eine stärkere Kohlung des Eisens unvermeidlich nach sich ziehen. Ein vor Jahren durch Bull in Liverpool gemachter Versuch, die Schwierigkeit durch Anwendung von Wassergas als Reduktions- und Heizstoff zu vermeiden, scheiterte gründlich, wie sich mit Sicherheit voraussehen ließ. Die Naturgesetze, welche einen Hochofenbetrieb mit Gasen unmöglich machen (Seite 219 II), besitzen auch hier ihre Gültigkeit. Dennoch wurde das Verfahren versuchsweise in Seraing eingeführt[1]).

Fr. Siemens ist Jahre hindurch bemüht gewesen, durch ein Verfahren, welches der von W. Siemens erfundenen Schweißeisendarstellung aus Erzen ähnlich war, d. h. durch Schmelzen von Erzen im Flammofen bei entsprechend hoher Temperatur und Zusatz von Kohle als Reduktionsmittel, Flußeisen darzustellen[2]). Mitteilungen über den Erfolg sind nicht veröffentlicht worden; vermuten läßt sich, daß teils der unvermeidliche Eisenverlust durch Verschlackung[3]), teils die minder günstige Ausnutzung der Wärme im Vergleiche zu der Wärmeausnutzung im Hochofen, teils auch die Schwierigkeit, ein der Einwirkung von Eisenoxyden in der zur Flußeisenerzeugung erforderlichen hohen Temperatur ausreichend haltbares Ofenfutter darzustellen, unübersteigbare Hindernisse für die Brauchbarkeit des Verfahrens bildeten.

Auch auf elektrischem Wege Flußeisen aus Erzen darzustellen, ist vielfach vorgeschlagen und teilweise versucht worden[4]). Besonders in Gegenden, wo starke Wasserkräfte zur Erzeugung billiger elektrischer Kraft verfügbar sind, hat man bisweilen gehofft, diese für eine einfachere Eisengewinnung als durch das Hochofenschmelzen nutzbar machen zu können. Ein lohnender Erfolg ist jedoch von dem elektrischen Verfahren schwerlich zu erwarten, sei es, daß man den elektrischen Schmelzofen oder die elektrolytische Abscheidung aus wäßrigen Lösungen zur Eisendarstellung benutzt. Nur reine Erze würden für das elektrische Schmelzverfahren verwendbar sein, damit nicht schädliche Fremdkörper neben dem Eisen reduziert werden und in dieses übergehen; der Kraftverbrauch ist hoch[5]), die Erzeugung eines Ofens gering. Dazu kommen die sonstigen nicht unbeträchtlichen Kosten für die Er-

---

[1]) Näheres hierüber: Iron, Band 21, Seite 89; „Stahl und Eisen" 1882, Seite 325.

[2]) D.R.P. Nr. 32309, 37105, 59930, 62904.

[3]) Auch bei der Flußeisenerzeugung steht, wie bei der Schweißeisendarstellung und dem Hochofenbetriebe, der Eisengehalt der Schlacke, also der Eisenverlust, im umgekehrten Verhältnisse zu dem Kohlenstoffgehalt des Erzeugnisses.

[4]) Stassanos Verfahren, beschrieben in der Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1900, Seite 340; „Stahl und Eisen" 1899, Seite 797; 1900, Seite 758.

[5]) Angeblich für 1 t in einer Stunde im elektrischen Schmelzofen zu erzeugenden Metalls 3000 Pferdekräfte („Stahl und Eisen" 1899, Seite 797).

zeugung des elektrischen Lichtbogens, Aufbereitung der Erze u. a. m. Noch ungünstiger würden die Ergebnisse sein, wenn man aus Lösungen das Eisen abscheiden wollte [1]).

Das sind nur wenige Beispiele aus der großen Zahl der vorgeschlagenen und hier und da versuchten Verfahren zur Flußeisenerzeugung aus Erzen. Keins dieser Verfahren hat einen zu seiner dauernden Anwendung anregenden Erfolg gehabt. Das chemische Verhalten des Eisens und der Eisenoxyde berechtigt zu dem Schlusse, daß es auch fernerhin unmöglich sein wird, ein Verfahren zu erfinden, durch welches die bisherige Betriebsweise, Verhüttung der Erze im Hochofen und Verarbeitung des entstehenden Roheisens auf Flußeisen, mit Vorteil ersetzt werden könnte. Der Eisenhochofen ist der vollkommenste Reduktionsofen für Schmelzen von Eisenerzen. Nicht allein wird der Eisengehalt der Erze beim Hochofenschmelzen annähernd vollständig gewonnen, sondern auch die Ausnutzung des Heiz- und Reduktionsstoffes ist so günstig, daß der wirklich stattfindende Brennstoffverbrauch mitunter den theoretisch erforderlichen kaum noch übertrifft (Seite 267 II). Ohne ferneren Aufwand von Brennstoff läßt sich aber das gewonnene Roheisen in Flußeisen umwandeln (Bessemer- und Thomasverfahren). Es ist nicht denkbar, daß eine unmittelbare Erzeugung von Flußeisen aus Erzen, wofür ein Schachtofen aus den schon besprochenen Gründen nicht anwendbar ist, unter gleich günstigen Verhältnissen sich durchführen lassen wird.

5. Die Versuche zur Flufseisendarstellung im Kupolofen.

Der Gedanke liegt nahe, daß man imstande sein müsse, durch Schmelzen von Schweißeisen mit oder ohne Roheisenzusatz im Kupolofen Flußeisen darzustellen. Mehrfach sind Versuche angestellt worden, das Verfahren für den Betrieb nutzbar zu machen. Auf Seite 324 II wurde jedoch bereits erwähnt, weshalb Flußeisenerzeugung auf diese Weise unmöglich ist: bei der unvermeidlichen Berührung des schmelzenden Eisens mit weißglühenden Kohlen nimmt es reichliche Mengen Kohlenstoff auf und verwandelt sich in Roheisen mit mindestens 2,5 v. H. Kohlenstoff, oft erheblich mehr.

Ein Verfahren, bei welchem das solcherart entstehende Roheisen als Zwischenerzeugnis verwendet wird, um durch Eingießen in Formen zu Gußwaren verarbeitet und dann durch oxydierendes Glühen schmiedbar gemacht zu werden (Temperstahl-Darstellung), findet später (im Abschnitt V) Besprechung.

6. Die Tiegelstahldarstellung.

a) Einleitung.

Der Tiegelstahl bildet die älteste Art alles Flußstahls und Flußeisens, auch die einzige, deren Erfindung schon aus dem

[1]) Näheres hierüber: Sitzungsberichte des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1892, Seite 138 (Wedding); „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 736 Abegg).

18. Jahrhunderte stammt[1]). Ein in Handsworth bei Sheffield wohnender Uhrmacher, Namens Benjamin Huntsman, war der Erfinder. Die Veranlassung dazu bildeten die Schwierigkeiten, welche ihm die Beschaffenheit der aus Schweißstahl gefertigten feinen Uhrfedern bereitete. Kleine unganze Stellen, eingemengte Schlackenkörnchen oder dergleichen machten viele solche Uhrfedern unbrauchbar; so verfiel er auf den Gedanken, durch Schmelzen den Stahl gleichförmiger zu machen. Im Jahre 1740 wurden die ersten größeren Versuche angestellt; sehr erheblich waren jedoch die Schwierigkeiten, welche sich der erfolgreichen Durchführung des Verfahrens entgegenstellten, und lange nach Huntsmans Tode fand man als Zeugnisse seiner anfänglichen Mißerfolge bedeutende Mengen unbrauchbaren Stahls im Erdboden der Fabrik vergraben[2]). Dennoch waren im Jahre 1765 in der Gegend von Sheffield, wie Jars in seinen metallurgischen Reisen (Band II, Seite 422) erzählt, bereits mehrerere Tiegelstahlschmelzereien im Betriebe.

Lange Zeit beschränkte sich jedoch das Verfahren auf die Darstellung kleiner, zum Ausschmieden bestimmter Blöcke, deren Größe durch den Inhalt des einzelnen Tiegels bestimmt war. Der im Jahre 1811 gegründeten Firma Fr. Krupp in Essen gelang es zuerst, durch Vereinigung des Inhalts zahlreicher Tiegel in einer einzigen Gußform schwerere Blöcke zu gießen, und diese Blöcke durch Anwendung kräftiger Dampfhämmer zu verdichten. Hierdurch erst war dem Tiegelstahle, welcher bis dahin fast nur für Werkzeuge, Federn und ähnliche Gegenstände geringeren Gewichts Verwendung gefunden hatte, ein weiteres Feld der Benutzung eröffnet (Geschütze, Maschinenteile u. a. m.); seine Anwendung zur Formgußdarstellung gelang zuerst im Jahre 1851 Jakob Meyer.

Da die Erhitzung des Metalls auf sehr hohe Temperaturen im Tiegel schwieriger ausfällt als bei unmittelbarer Berührung zwischen Metall und Brennstoff, auch die Haltbarkeit der Tiegel um so mehr gefährdet ist, je höher die Temperatur ist, pflegt man das Verfahren auf die Erzeugung eigentlichen Stahls zu beschränken, dessen Schmelztemperatur niedriger liegt als diejenige des kohlenstoffärmeren Eisens; Tiegelstahl, welcher seiner Zusammensetzung nach etwa auf der Grenze zwischen wirklichem Stahl und nicht deutlich härtbarem Eisen steht (Kohlenstoffgehalt etwa 0,4 v. H.), wird allerdings nicht selten erzeugt. Nur für einen ganz besonderen Zweck, nämlich Darstellung von Gußwaren aus ganz weichem, schmiedbarem Eisen (Mitisgüssen), hat man neuerdings in vereinzelten Fällen auch kohlenstoffarmes Eisen im Tiegel geschmolzen. Die Bezeichnung „Stahl" verdient das Erzeugnis in diesem Falle nicht; da

---

[1]) Bis zur Erfindung neuerer Verfahren der Flußstahlerzeugung nannte man den Tiegelstahl Gußstahl, um ihn vom Schweißstahle zu unterscheiden. Noch heute wird die Benennung mitunter angewendet, ist aber unzuverlässig, da niemandem das Recht abgesprochen werden kann, auch anderen Stahl, wenn er gegossen ist, Gußstahl zu nennen. Unnötig lang ist auch die ebenfalls häufig angewendete Bezeichnung „Tiegelgußstahl". Jeder Stahl, der im Tiegel erzeugt wird, kann nur Flußstahl (Gußstahl) sein.

[2]) Näheres über die Erfindung: Ludwig Beck, „Die Geschichte des Eisens", Band 3, Seite 271.

das Verfahren jedoch in seinen Haupteigentümlichkeiten mit dem Tiegelstahlschmelzen übereinstimmt, möge es bei diesem Erwähnung finden.

Durch neuere Verfahren der Flußstahldarstellung, welche in weniger kostspieliger Weise ein ähnliches Erzeugnis liefern, ist die Verwendung des Tiegelstahls auf manchen Gebieten eingeschränkt worden, wo er noch um die Mitte des 19. Jahrhunderts die Alleinherrschaft besaß; trotzdem bildet auch heute noch seine Darstellung ein wichtiges Glied der gesamten Eisenerzeugung. Die Fortschritte jedoch, welche inzwischen auf dem Gebiet der elektrothermischen Raffination gemacht worden sind, lassen heute schon mit Sicherheit erkennen, daß auch die Stunde des teueren Tiegelstahlprozesses geschlagen hat, und er über lang oder kurz durch das neue Verfahren verdrängt werden wird.

b) Die Tiegel.

Man benutzt Tiegel von zylindrischer oder schwach gebauchter Form, wie sie zum Metallschmelzen überhaupt üblich sind. Ihr Fassungsraum beträgt, abweichend nach der Verwendung des erzeugten Stahls und örtlichen Verhältnissen, gewöhnlich 10 bis 40 kg, doch kommen auch noch größere Tiegel zur Verwendung.

Zum Schutze des Tiegelinhalts gegen die unmittelbare Einwirkung des Brennstoffs wird der Tiegel mit einem aufgelegten Deckel versehen, welcher eine runde Öffnung besitzt, dazu dienend, das Einstecken einer Eisenstange zu ermöglichen, mit welcher der Tiegelinhalt untersucht werden kann, ohne daß der Deckel abgehoben zu werden braucht. Während des Schmelzens läßt sich durch einen Tonpfropfen die Öffnung verschließen. Mitunter gibt man dem Deckel eine zweite Öffnung am Rande, durch welche der fertige Stahl ausgegossen werden kann, ohne daß der Deckel entfernt zu werden braucht.

Damit die Tiegel in der hohen Temperatur der Schmelzöfen ausreichend widerstandsfähig sind, muß große Sorgfalt auf ihre Anfertigung verwendet werden. Gute Tiegel können zwei bis drei Schmelzungen aushalten, weniger gute nur eine Schmelzung; bei ungenügender Beschaffenheit kann es vorkommen, daß der Tiegel schon beim ersten Schmelzen leck wird und der Einsatz ausfließt. In Rücksicht auf den Schaden, welcher durch das Auslaufen eines Tiegels entsteht, benutzt man auf manchen Werken zur besseren Vermeidung der Gefahr auch gute Tiegel doch nur ein einziges Mal.

Durch den Kieselsäure- und Kohlenstoffgehalt der Tiegel werden chemische Einwirkungen auf das eingeschlossene Metall ausgeübt, welche unten ausführlichere Besprechung finden werden. Ob sie als wohltätig oder als nachteilig zu bezeichnen sind, hängt von der Bestimmung des erzeugten Stahls und von der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung des Einsatzes ab; in jedem Falle aber müssen diese Änderungen von vornherein bei der Auswahl der Tiegel in Betracht gezogen werden. In verschiedenen Tiegeln kann man unter übrigens gleichen Verhältnissen Stahl von abweichender Beschaffenheit erhalten.

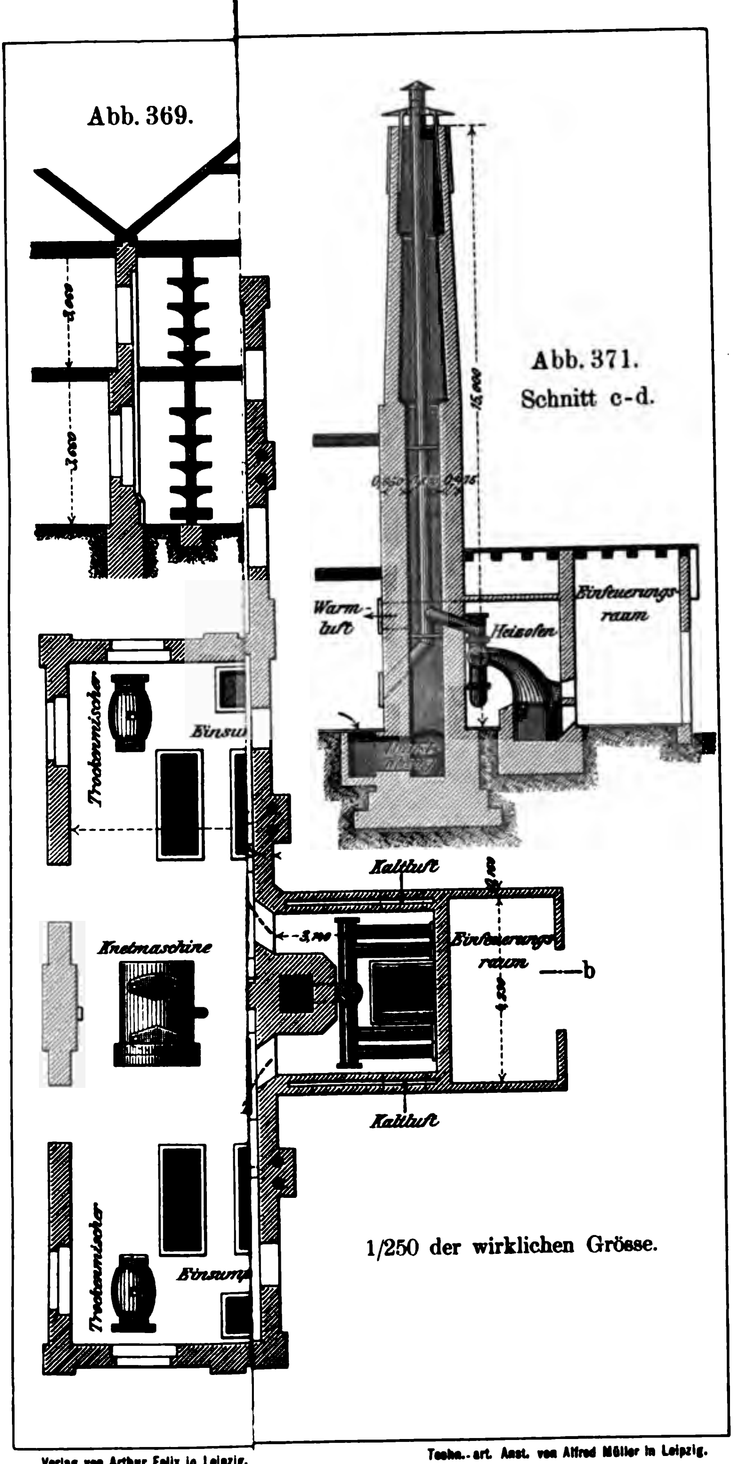


Abb. 369.

Abb. 371.
Schnitt c-d.

1/250 der wirklichen Grösse.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig.

In Anbetracht der Wichtigkeit, welche die Beschaffenheit der Tiegel für den Betrieb einer Tiegelstahlhütte besitzt, und des großen jährlichen Bedarfs an Tiegeln führen größere Werkstätten deren Herstellung in eigenen Werkstätten aus.

Man fertigt die Tiegel aus feuerfestem Ton mit oder ohne Graphitzusatz und unterscheidet danach Ton- und Graphittiegel. Die Grundlage bildet in beiden Fällen ein guter, feuerfester, scharfgebrannter Ton (Schamott), welcher gemahlen, und mit so viel frischem feuerfestem Ton vermengt wird, daß das Ganze im angefeuchteten Zustande bildsam ist. Tontiegel erhalten außerdem einen Zusatz von Kokspulver, um das Reißen der Tiegel zu verhindern, Graphittiegel einen solchen von Graphit.

Der Graphitgehalt der Tiegel hat mehr als eine Aufgabe zu erfüllen. Er dient als Magerungsmittel; an und für sich unschmelzbar, erhöht er die Feuerbeständigkeit des Tons, sofern er nicht durch fremde leichtschmelzige Beimengungen verunreinigt ist[1]; er verhindert aber auch das Eindringen oxydierender Gase durch die Poren des weißglühenden Tiegels in das Innere und schützt das eingeschlossene Metall somit vor der Schädigung, welche es durch Aufnahme von Sauerstoff und Wasserstoff aus dem Kohlendioxyd- und Wasserdampfgehalte der Gase erfahren würde. Letztere Aufgabe ist besonders wichtig; seine größere Vorzüglichkeit im Vergleiche zu anderen Flußstahlsorten verdankt der Tiegelstahl vornehmlich dem Umstande, daß er während des Schmelzens der Berührung mit jenen Gasen entzogen ist. Schmelzt man dagegen Stahl in Tontiegeln ohne Graphitzusatz, so ist er unruhig beim Gießen und liefert undichte Abgüsse.

Sowohl die Rücksicht auf die Anforderungen, welche an die Beschaffenheit des zu erzeugenden Stahls gestellt werden, als auch die Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden feuerfesten Tons muß über das Verhältnis des letzteren zu den Magerungsmitteln — Tiegelscherben und Graphit — entscheiden. Fetter Ton erträgt und verlangt einen größeren Zusatz, magerer einen geringeren. Meistens beträgt die Menge des frischen feuerfesten Tons 25 bis 50 v. H. des Gewichts der Tiegelmasse; der Rest besteht aus jenen Magerungsmitteln. Der Graphitgehalt der Tiegel schwankt zwischen 15 bis 75 v. H.; bei dem verhältnismäßig hohen Preise des Graphits steigen mit dem Graphitgehalt der Tiegel auch ihre Herstellungskosten. Da jedoch auch der gereinigte Graphit niemals aus chemisch reiner Kohle besteht, ist der Kohlenstoffgehalt jener Tiegel entsprechend niedriger als der Graphitgehalt und beträgt gewöhnlich 10 bis 60 v. H.

Die Bestandteile der Tiegelmasse werden gemahlen und gemischt, mit Wasser befeuchtet, dann zu Tiegeln geformt. Das

[1]) Nur der beste, von Alkalien, Erden, Eisenoxyd usw. möglichst freie Graphit ist für diesen Zweck brauchbar. Minder reinen Graphit unterwirft man einem Reinigungsverfahren durch Schlämmen, Glühen bei Luftabschluß und nachfolgender Behandlung mit verdünnten Säuren oder in ähnlicher Weise. Steirischer, für die Tiegeldarstellung benutzter Graphit enthält:

C	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	K_2O	H_2O
77,80	13,04	6,12	0,44	0,01	0,43	1,95

Formen geschieht entweder von Hand auf einer Töpferscheibe[1]) oder in einer Form durch eine Presse, die durch eine Schraube, Dampfdruck oder Wasserdruck bewegt wird. Im Großbetriebe ist das letztere Verfahren üblicher.

Nach dem Formen läßt man die Tiegel erst an der Luft trocknen, dann kommen sie in ganz schwach erwärmte Räume, von hier in stärker erhitzte Kammern, um schließlich — jedoch erst unmittelbar vor der Benutzung — in Rotglut gebrannt zu werden. Diese Arbeit des Trocknens erfordert einen Zeitraum von mehreren Wochen, so daß für eine größere Tiegelstahlhütte stets eine ziemlich bedeutende Zahl von Tiegeln in Vorbereitung begriffen sein muß.

In Abb. 369 bis 371 ist die Tiegelfabrik einer steirischen Tiegelstahlhütte im Grund- und Aufrisse dargestellt. In der links befind-

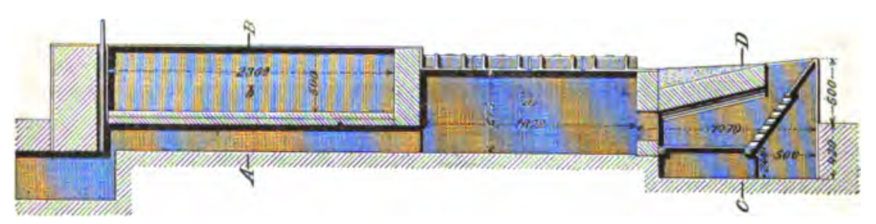


Abb. 372.

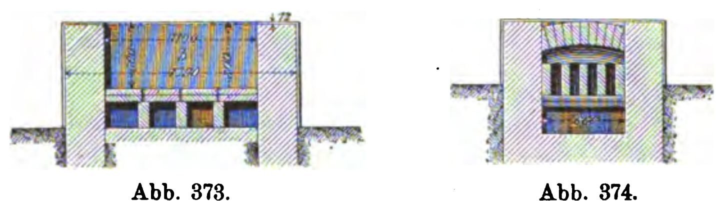


Abb. 373. (Schnitt nach AB.)

Abb. 374. (Schnitt nach CD.)

lichen Tiegelformerei (Abb. 370) sind die durch eine Dampfmaschine angetriebenen Maschinen zum Mahlen und Mischen der Rohstoffe sowie die Tiegelpressen aufgestellt. Die geformten Tiegel gelangen durch den Vorraum in die Trockenräume. Der Vorraum ist angebracht, um die in den Trockenräumen befindlichen Tiegel vor Zugluft zu schützen, welche die Entstehung von Rissen veranlassen kann. Die Trockenräume bestehen aus zwei Stockwerken, wie Abb. 369 erkennen läßt; in dem unteren Stockwerke werden die Tiegel vorgetrocknet, in dem oberen wärmeren Stockwerke fertig getrocknet. Die Heizung geschieht teils durch Luft, welche durch den in Abb. 370 im Grundriß und in Abb. 371 im Aufriß erkennbaren Heizofen erwärmt und dann durch zwei seitlich von der Esse befindliche Öffnungen unter der Decke des unteren Stockwerks in

[1]) Eine solche ist in jeder Töpferwerkstatt zu sehen. Eine wagerechte Scheibe an dem oberen Ende einer senkrechten Welle wird durch einen Fußtritt gedreht. Der vor der Scheibe sitzende Arbeiter bringt den Tonklumpen in die Mitte der Scheibe und formt mittels Daumens und Zeigefingers, während jene sich dreht, die Wand des Gefäßes.

die Kammern geleitet wird, teils durch eiserne Röhren, welche durch die Kammern hindurchziehen und durch Feuerungsgase von innen erhitzt werden. In Abb. 371 sind *rrr* die für diese Heizung bestimmten Roste, auf welchen Zinder verbrannt werden; die von diesen ausgehenden Röhren sind durch punktierte Linien angedeutet. Die entwickelten Wasserdämpfe werden teils durch die in Abb. 371 sichtbare Esse, teils durch einen Exhaustor abgesaugt, welcher in der Minute etwa 90 cbm Luft zu befördern vermag. Die verschiedenen Trockenräume, deren jeder etwa 2100 Tiegel faßt, stehen unter einander in Verbindung und erhalten von außen durch Fenster Beleuchtung. Die Tiegel werden zu je zwei auf einem Brette aus der Formerei in einen der Trockenräume gebracht und auf den in Abb. 369 und 370 angedeuteten Fachgestellen aufgestellt. Nach drei bis vier Tagen werden sie gewendet, so daß der Boden nach oben gekehrt ist, um frei trocknen und schwinden zu können. In dem untern Stockwerke verweilen sie zehn bis zwölf Tage, in dem obern etwa drei Wochen. Die fertig getrockneten (reifen) Tiegel werden einstweilen in dem hierfür bestimmten, in Abb. 370 näher bezeichneten Raume aufbewahrt, um dann aus dem daneben befindlichen Verladeraume auf Wagen nach der Hütte befördert zu werden.

Unmittelbar vor der Benutzung werden nun die getrockneten Tiegel, nachdem sie gewöhnlich schon mit dem zu schmelzenden Einsatze gefüllt wurden, bis zum Glühen erhitzt und dadurch zugleich vorgewärmt, um nicht beim Einsetzen in den bereits weißglühenden Schmelzofen Risse zu bekommen. Ein für diesen Zweck bestimmter Ofen ist in Abb. 372 bis 374 dargestellt. Er besteht aus zwei Abteilungen, welche von obenher zugänglich und durch eiserne Platten abgedeckt sind. Die Tiegel kommen zunächst in die links befindliche, nur mit Bodenheizung versehene Abteilung *b*, dann, wenn sie hier vorgewärmt sind, nach *a*, wo sie unmittelbar von der Flamme getroffen werden. Um auch hier eine allmähliche Erhitzung zu erzielen, stellt man die aus *b* herübergenommenen Tiegel zunächst an dem Ende der Kammer auf und rückt sie, wenn fertig geglühte Tiegel herausgenommen werden, der Feuerung immer näher. Im übrigen ist die Einrichtung dieser Öfen auf verschiedenen Werken ziemlich abweichend.

c) Die Schmelzöfen.

Bis gegen die Mitte der sechziger Jahre des 19. Jahrhunderts bediente man sich allein der mit Koks geheizten Tiegelschachtöfen, deren Einrichtung durch die Abb. 224 und 225 auf Seite 297 II dargestellt ist. Flammofenheizung mit Rostfeuerung gab nicht den erforderlichen Temperaturgrad, und die Gasfeuerung war bis zu jener Zeit noch nicht genügend ausgebildet, um befriedigende Erfolge zu liefern.

In kleineren Schmelzwerken wird auch heute noch der Tiegelschachtofen mit Rost und Essenzug oder auch mit Unterwind am häufigsten benutzt[1]). Man hat ein- und mehrtieglige Öfen; geht

[1]) Abbildung zweier mit Unterwind betriebener Tiegelstahl-Schmelzöfen: Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1899, Tafel 9, Figur 2 und 3.

die Zahl der Tiegel, welche in einen Ofen eingesetzt werden sollen, über drei hinaus, so stellt man sie in Parallelreihen auf, deren jede zwei bis vier Tiegel enthält, oder im Kreise mit einem Tiegel in der Mitte. Daß aber mit der Anzahl der Tiegel auch die Schwierigkeit wächst, sie gleichmäßig zu erhitzen, wurde schon bei der früheren Besprechung eines Tiegelschmelzofens erwähnt. Jeder Ofen erhält am zweckmäßigsten seine eigene Esse, sofern man nicht Unterwind benutzt.

Der Koksverbrauch zum Schmelzen von 1000 kg Stahl in solchen Öfen beträgt, abweichend nach der Größe und Zahl der Tiegel eines Ofens und nach der Beschaffenheit der Koks, 1500 bis 3000 kg.

In neuerer Zeit hat man mehrfach den Piatofen (Seite 299 II) sowie den Baumannofen (Seite 300 II) und den Ofen von Baße & Selve in Altena i. Westf.[1]) an Stelle der feststehenden Öfen mit gutem Erfolge eingeführt. Man kann darin größere Tiegel einsetzen, schont die Tiegel und spart an Brennstoff. In Fällen, wo man denselben Ofen und Tiegel zu mehreren unmittelbar aufeinander folgenden Schmelzungen benutzt, ergibt sich ein Koksverbrauch von nicht mehr als etwa 1200 kg oder noch etwas weniger für 1000 kg Stahl.

Durch Erfindung der Siemensfeuerungen im Jahre 1860 (Seite 153 I) erhielt man ein Mittel, beim Tiegelstahlschmelzen auch durch Flammenfeuerung die erforderliche Temperatur hervorzubringen. Gerade für diese Verwendung besitzen die Siemensfeuerungen unleugbar verschiedene Vorzüge.

Bei dem Schmelzen mit Koks in Schachtöfen geht der größte Teil der entwickelten Wärme ungenutzt in die Esse. Eine Ausnutzung dieser entweichenden Wärme ist nicht gut möglich. Eine Einschaltung anderer zu erhitzender Vorrichtungen würde zur Schmälerung des Essenzuges leicht Veranlassung geben und auch in Rücksicht auf den Umstand untunlich sein, daß der einzelne Ofen nur zeitweise mit Brennstoff gefüllt, während des Einsetzens und Herausnehmens der Tiegel aber leer ist. Bei den Siemensfeuerungen wird die abziehende Wärme zum Teil aufgespeichert, durch das zuströmende Gas und die Verbrennungsluft dem Ofen wieder zugeführt und hierdurch nutzbar gemacht. Die Brennstoffausnutzung ist also günstiger, und leichter als in anderen Flammöfen läßt sich die zum Tiegelschmelzen erforderliche hohe Temperatur erzielen. Außerdem aber ermöglichen diese Öfen, wie alle Flammöfen, die Anwendung unverkokter, also billigerer Brennstoffe, und zwar nicht allein der Steinkohlen, sondern bei entsprechender Einrichtung auch der Braunkohlen, des Torfes, des Holzes, und dieser Umstand fällt gerade in solchen Gegenden für ihre Wahl ins Gewicht, wo Koks hoch im Preise stehen. Endlich ist es ein Vorteil der Tiegelflammöfen, daß die Tiegel mit dem festen Brennstoffe und der Asche nicht in Berührung kommen. Sie sind in jedem Augenblicke des Betriebes zugänglich, während man bei den Koksschachtöfen erst die Brennstoffschicht niederbrennen lassen muß, um zu den Tiegeln zu gelangen, und sie werden von der

[1]) D.R.P. Nr. 179311.

Asche nicht angegriffen, welche bei den anderen Öfen oft als dicke Schlackenkruste an die Tiegelwände sich ansetzt und zerstörend auf diese einwirkt.

Dieser Vorzüge halber haben die Flammöfen mit Siemensfeuerung seit der erwähnten Zeit im Großbetriebe überall die alten Schachtöfen mit Koksfeuerung verdrängt; aber freilich ist ihre Anlage erheblich kostspieliger, und sie erfordern, damit sie ihre Aufgabe erfüllen können, einen möglichst ununterbrochenen Betrieb. Aus diesen Gründen würden sie für einen Betrieb in kleinem Maßstabe nicht geeignet sein.

Die Einrichtung der Wärmespeicher und Umschaltvorrichtungen ist bei diesen Öfen die nämliche, wie bei den Siemensöfen überhaupt; die Einrichtung des Herdes richtet sich nach der Anzahl

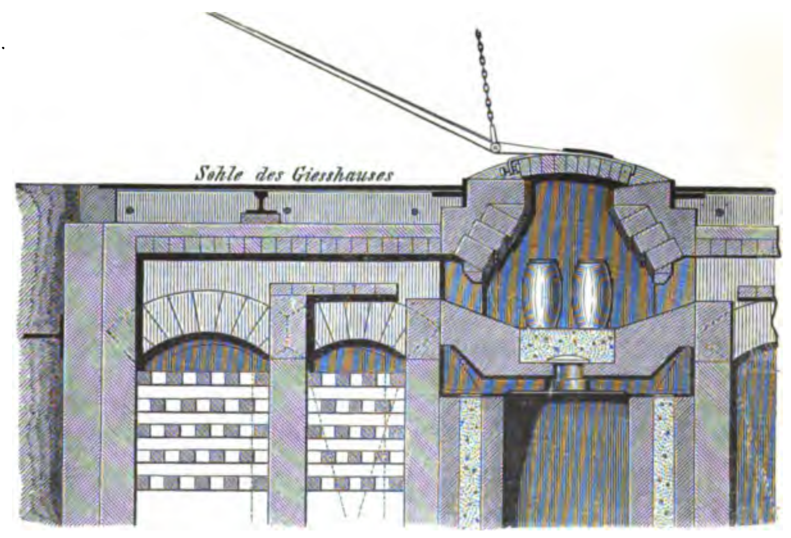


Abb. 375.

der einzusetzenden Tiegel. Ist ihre Zahl nicht sehr groß (12 bis 24), so ordnet man den Ofen vertieft im Erdboden, die Einsatzöffnungen in seiner Decke an, so daß von hier aus die Bedienung des Herdes erfolgt. Ist nun das zur Verfügung stehende Gas arm an Kohlenwasserstoffen und deshalb für Entwickelung einer langen Flamme nicht geeignet, so gibt man dem Herde geringe Länge, so daß nicht mehr als zwei bis drei hintereinander (in der Flammenrichtung) aufgestellt werden können, und eine der Zahl der einzusetzenden Tiegel entsprechende Breite. Abb. 375 zeigt in $^1/_{48}$ der wirklichen Größe einen Längsschnitt durch einen derartigen Ofen[1] (unter Weglassung der rechts befindlichen Wärmespeicher). Durch Scheidewände in der Längsrichtung, welche zugleich als Unterstützung der Decke dienen, wird der Herd in mehrere Abteilungen von 0,6 bis 0,9 Breite geteilt, in deren jeder nur zwei Tiegel nebeneinander

[1]) Aus J. S. Jeans, Steel, its history, manufacture, properties and uses

Platz finden, so daß jede Abteilung vier bis sechs Tiegel aufnimmt. Der ganze Ofen enthält drei bis höchstens vier solcher Abteilungen mit gemeinschaftlichen Wärmespeichern. Über den Tiegeln jeder Abteilung befindet sich die Einsatzöffnung, durch je zwei nebeneinander liegende, aus feuerfesten Ziegeln gefertigte Deckel geschlossen, deren jeder durch eiserne Bänder zusammengehalten wird und an je einem Hebel mit Kette befestigt ist, wie die Abbildung zeigt. Die Kette hängt an einer auf einer Eisenschiene laufenden Rolle, so daß der Deckel leicht zur Seite bewegt werden kann, nachdem er mit Hilfe des Hebels etwas emporgehoben wurde. Der Herd besteht aus einer Sandfüllung auf einer gußeisernen Platte. In dieser Platte sind unterhalb der Tiegel Öffnungen angebracht, die durch Tondeckel geschlossen sind. In der Abbildung ist eine solche Öffnung im Schnitte sichtbar. Ist ein Tiegel leck geworden, so durchstößt man mit einer Eisenstange die Tondeckel, und der Stahl nebst Schlacke werden aus dem Ofen entfernt. Dann wird eine neue Tonplatte aufgelegt.

Bei der kurzen Herdlänge eines solchen Ofens ist es von Wichtigkeit, die Verbrennung so zu leiten, daß eine kurze heiße Flamme erfolgt. Gas und Luft müssen, damit dieser Zweck erreicht werde, unter verschiedener Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit aufeinander treffen. Die Abbildungen lassen erkennen, in welcher Weise diese Aufgabe gelöst wird. Aus dem am Ende des Ofens gelegenen, etwas größeren Wärmespeicher tritt die Luft in einen wagerechten Kanal; unter einem Winkel von fast 90 Graden gegen die Richtung der Luft tritt das aus dem zweiten Wärmespeicher durch einen engen Schlitz, also mit großer Geschwindigkeit, ausströmende Gas ein. An der Stelle, wo die Gase in den Herd eintreten, erhalten sie durch die abfallende Decke eine Richtung nach unten, wodurch verhütet wird, daß der Fuß der Tiegel kalt bleibe.

Dennoch kann es bei der abgebildeten Anordnung der Öfen vorkommen, daß die Verbrennung erst in den Wärmespeichern ihr Ende erreicht, die Wärme also ungenügend ausgenutzt wird. Die Gefahr liegt besonders nahe bei Benutzung kohlenwasserstoffreicher und deshalb eine längere Flamme gebender Gase, aus Braunkohlen oder gasreichen Steinkohlen erzeugt. In solchen Fällen ist eine größere Herdlänge zweckmäßig. Man gibt dem Herde des Ofens zur Erreichung des Zweckes die Form eines langen, schmalen Rechtecks, so daß sechs bis acht Tiegel hintereinander in der Flammenrichtung und nur zwei nebeneinander Platz finden. Öfen von dieser Einrichtung sind jedoch seltener.

Sollen mehr Tiegel, als angegeben, eingesetzt werden, so ist eine entsprechend größere Zahl von Schmelzöfen dafür erforderlich Wo man indes regelmäßig in zahlreichen Tiegeln zu schmelzen beabsichtigt, gibt man den Öfen zweckmäßigerweise die in den Abbildungen 376 bis 378 dargestellte Einrichtung. Man baut sie oberirdisch mit Türen an der Langseite und geräumigem Herde. Das Einsetzen und Herausnehmen der Tiegel erfolgt durch die Türen; um aber während des Schmelzens die Tiegel beobachten und ihren Inhalt untersuchen zu können, sind in der Decke des Ofens Öffnungen

e man
elegte
erden;
Man

lstahl-
n oft
schen-
, bei
offver-
iegel-
erung
Inhalt
l, und
auchs

ellung
veilen
r Pe-
n dem
enden
rgast;
durch
weise
Stelle
nmen
n der
d ein-
aus-
elzen

tstahl
nden
iegel.
nur
jeder
Reihe
Phos-
Phos-
von
auch
sicht
Rein-
mit
r als
lchen

'afel 8.

Platz
Der g
mit
jeder
neben
gesch
wird
bildui
laufen
kann,
Der E
In di
die d
solche
so du
Stahl
eine 1

E
Wich
Flami
werde
schwi
in we
des C
in ein
gegen
speicl
keit,
Hord
tung
kalt t

I
vorko
Ende
Gefah
und c
oder
größe
zur E
ecks,
richtu
dieser

S
eine
Wo n
absicl
bildui
irdisc
Einse
um al
Inhalt

angebracht (bei dem abgebildeten Ofen neun), durch welche man hineinsehen und eiserne Stangen einführen kann. Durch aufgelegte Steine schließt man die Öffnungen, so lange sie nicht benutzt werden; eine eiserne Bühne über dem Ofen ermöglicht den Zugang. Man baut Öfen dieser Art für Einsätze von 25 bis 100 Tiegeln.

Der Brennstoffverbrauch eines Siemensofens zur Tiegelstahlerzeugung beträgt bei Anwendung vorzüglicher Steinkohlen oft nicht mehr als 1200 kg für 1000 kg erzeugten Stahls; bei aschenreicheren Steinkohlen kann man 1500 bis 1600 kg annehmen, bei Braunkohlen 2000 bis 4000 kg. Ein Vergleich dieses Brennstoffverbrauchs mit dem oben mitgeteilten Verbrauche an Koks in Tiegelschachtöfen läßt die günstigere Brennstoffausnutzung bei Gasfeuerung erkennen. Ein Ofen mit 18 bis 20 Tiegeln von 25 bis 30 kg Inhalt aber liefert im Laufe von 24 Stunden 2000 bis 3000 kg Stahl, und ohne wesentliche Erhöhung des bezüglichen Brennstoffverbrauchs würde es nicht möglich sein, diese Leistung zu beschränken.

Zum Schmelzen ganz kohlenstoffarmen Eisens für Herstellung des schon erwähnten Mitisgusses bedient man sich bisweilen einer besonderen Art Schmelzöfen, welche mit Petroleum oder Petroleumabfällen geheizt werden. Die in flachen Gefäßen neben dem Ofen befindliche Flüssigkeit wird durch einen darüber hinstreichenden Luftstrom teils verbrannt, teils im unverbrannten Zustande vergast; das entstehende Gasgemisch tritt in den Ofen und wird hier durch zugeführte Luft vollends verbrannt. Sechs Tiegel stehen paarweise in drei Reihen hintereinander. Wenn das an der heißesten Stelle befindliche Tiegelpaar zum Zwecke des Ausgießens herausgenommen ist, werden die dahinter stehenden Tiegel vorgerückt, und an der leer gewordenen kältesten Stelle wird ein Paar frischer Tiegel eingesetzt[1]. Etwa alle anderthalb Stunden wird diese Arbeit ausgeführt. Über den erforderlichen Brennstoffverbrauch zum Schmelzen in diesen Öfen liegen bis jetzt keine Mitteilungen vor.

d) Das Arbeitsverfahren.

Schweißstahl (Puddel- oder Frischfeuerstahl) oder Zementstahl (dessen Herstellung im sechsten Abschnitte Besprechung finden wird) bilden den Grundbestand für die Beschickung der Tiegel. Bei der Kostspieligkeit der Tiegelstahldarstellung kann sie nur dann lohnend werden, wenn der gewonnene Stahl sich in jeder Beziehung als vorzüglich erweist; hierzu ist aber in erster Reihe Reinheit von nachteiligen Beimengungen, insbesondere von Phosphor und Schwefel, erforderlich. Da eine Abscheidung des Phosphors beim Tiegelschmelzen gar nicht, eine Abscheidung von Schwefel nur in beschränktem Maße stattfinden kann, muß auch bei der Auswahl der zu verwendenden Stahlsorten hierauf Rücksicht genommen werden. Zementstahl, welcher sich durch große Reinheit vor anderen Stahlsorten auszeichnet und leicht auch mit größerem Kohlenstoffgehalte darzustellen, aber kostspieliger als Puddel- und Herdfrischstahl ist, findet für Darstellung solchen

[1]) Abbildung eines solchen Ofens: Revue universelle des mines 1888, Tafel 8.

Tiegelstahls Verwendung, der für feine Werkzeuge, Feilen und dergleichen bestimmt ist. Neben diesen Stahlsorten wird bisweilen Flußstahl von anderen Verfahren (Bessemerstahl, Martinstahl) seiner Billigkeit halber mit eingesetzt, zumal dann, wenn man den Tiegelstahl für Formgußdarstellung verwenden will.

Beim Schmelzen in graphitreichen Tiegeln pflegt der Kohlenstoffgehalt des Einsatzes um etwa 0,1 v. H., mitunter noch etwas mehr, zuzunehmen, worauf bei der Auswahl des Stahls Rücksicht zu nehmen ist.

Sehr harte Stahlsorten, zur Anfertigung von Werkzeugen für Bearbeitung harter Metalle bestimmt, erzeugt man durch Zusatz der auf Seite 369 und 372 I besprochenen Eisenchrom- oder Eisenwolframlegierungen oder auch reinen Chroms oder Wolframs in solchen Gewichtsmengen, daß der fertige Stahl bis zu 2 v. H. Chrom oder bis zu 8 v. H. und mehr Wolfram enthält.

Mitunter gibt man einen kleinen Zusatz von Braunstein (bis zu 5 v. H. des Einsatzgewichtes). Mangan wird daraus reduziert und in den Stahl geführt; die Gasentwickelung beim Gießen pflegt geringer auszufallen, und der Stahl wird leichter schmiedbar[1]. Nicht aller Stahl verträgt aber einen Mangangehalt von mehr als 0,3 v. H., welcher die Sprödigkeit um so deutlicher erhöht, je kohlenstoffreicher der Stahl ist. Werkzeugstahl ist in dieser Beziehung empfindlicher als Formgußstahl.

Auch ein Zusatz von Eisenmangan kann zur Anreicherung des Mangangehalts dienen. Durch das bereits in metallischem Zustande vorhandene Mangan aber wird der Neigung des Stahls, Kohlenstoff aus den graphithaltigen Tiegelwänden aufzunehmen, Vorschub geleistet und außerdem wird Silicium aus den Tiegelwänden reduziert (Seite 348 I); bei einigermaßen reichlichem Zusatze kann ein roheisenartiges Erzeugnis entstehen[2]. Hierbei werden die Tiegelwände stark angegriffen. Je graphitreicher die Tiegel sind, desto deutlicher zeigt sich jene Wirkung des Manganzusatzes.

Soll der Stahl für Formgußdarstellung benutzt werden, so gibt man auch wohl einen mäßigen Zusatz eines phosphorarmen grauen Roheisens oder einen geringen Zusatz Siliciumeisens, um den Siliciumgehalt anzureichern und dadurch die Erzielung dichter Güsse zu befördern. Bei Darstellung von Werkzeugstahl würde dieser Zusatz mißlich sein, zumal da ohnehin eine Zunahme des Siliciumgehalts beim Schmelzen stattzufinden pflegt.

Der einzusetzende Stahl wird, sofern er von vornherein für die Tiegelstahlerzeugung bestimmt ist, schon zuvor zu quadratischen Stäben von etwa 20 mm Stärke ausgereckt und glühend in Wasser geworfen. Es wird dadurch spröde und läßt sich leichter in Stücke zerbrechen, welche nach dem Bruchaussehen gesondert werden. Auch die übrigen einzusetzenden Körper — Stahlabfälle, Chrom

---

[1]) Näheres über den chemischen Einfluß des Braunsteinzusatzes unter: Chemischer Verlauf des Tiegelstahlschmelzens.

[2]) Versuche hierüber sind unten (Chemischer Verlauf des Tiegelstahlschmelzens) mitgeteilt.

oder Wolfram, Braunstein u. a. m. — werden so weit zerkleinert, daß der Tiegel möglichst dicht gefüllt werden kann.

Auf den meisten Werken füllt man die Tiegel, nachdem sie in den oben beschriebenen Trockenöfen (Abb. 369) getrocknet worden sind, kalt mit dem Einsatze und bringt sie nunmehr erst in den Brennofen (Abb. 372 bis 374, in welchem sie bis zur Rotglut erhitzt werden. Aus diesem kommen sie in den bereits in voller Hitze befindlichen Schmelzofen. Seltener erhitzt man im Brennofen die leeren Tiegel, um sie dann erst zu füllen.

Für die Bewegung der Tiegel bedient man sich langer Zangen, welche den Bauch des Tiegels umfassen.

Wenn das Füllen und das Einsetzen der Tiegel beendet ist, die Deckel aufgelegt sind, beginnt das Schmelzen. Es beansprucht etwa drei bis vier Stunden, wobei die Zeit für das Einsetzen und Herausnehmen der Tiegel mit eingerechnet ist.

Sobald der Stahl im Tiegel flüssig geworden ist, tritt ein Wallen (Kochen) ein, durch entweichendes Kohlenoxyd hervorgerufen.

Mit Hilfe einer Eisenstange, welcher durch die früher erwähnte Öffnung des Tiegeldeckels hindurchgesteckt wird, untersucht der Schmelzer die Beschaffenheit des Metalls. Er fühlt, ob die Stange leicht bis auf den Boden des Tiegels hindurchgeht, und beurteilt nach der Beschaffenheit der daran haftenden Schlacke und des Stahls den Verlauf des Schmelzens. Die Schlacke ist im Anfange schwarz und wird später wegen des Austretens von Eisenoxydul heller; eine bestimmte Färbung kann jedoch nicht für alle Fälle maßgebend sein, da sie zum Teil von der Beschaffenheit des Einsatzes abhängt. Im Anfange des Schmelzens zeigt sich erstarrter Stahl an der Probierstange; später, wenn der Stahl „gar“ wird, d. h. wenn das Wallen aufgehört hat, ist die Temperatur in solchem Maße gestiegen, das geschmolzene Metall so dünnflüssig geworden, daß die Stange ziemlich frei von anhaftendem Stahl wieder herauskommt. Als ein deutliches Merkmal des Garwerdens dient auch das Aufhören des Funkensprühens der aus dem Tiegel herauskommenden Probierstange.

Man läßt nun den Stahl, nachdem er dünnflüssig geworden ist und die Gasentwickelung aufgehört hat, eine Zeitlang im Ofen „abstehen“ oder „nachkochen“, d. h. man überläßt ihn der ruhigen Erhitzung, wodurch die Gefahr des Steigens in der Gußform verringert wird, und schreitet alsdann zum Gießen.

Der Ofendeckel wird abgehoben, der Arbeiter erfaßt den Tiegel mit einer Zange, hebt ihn heraus und befördert ihn nach der Stelle, wo der Guß stattfinden soll. Beim Heben schwerer Tiegel hängt die Zange in einer Kette, welche an einem Hebel befestigt ist; eine Rolle, welche den Hebel trägt, dient zur Erleichterung der Beförderung. Zum Herausheben aus den Schmelzöfen, deren Einsatzöffnung sich oben befindet, dient eine Zange, welche den Tiegel von oben her erfaßt, deren Schenkel also senkrecht stehen; ist das Herausheben vollbracht und der Tiegel an Ort und Stelle befördert, ergreift ihn ein anderer Arbeiter mit einer Zange mit wagerecht liegenden Schenkeln und entleert ihn durch Kippen, während ein dritter Arbeiter die auf der Oberfläche des Stahls schwimmende Schlacke mit Hilfe eines eisernen Stabes zurückhält.

Sollen mehrere Tiegel in eine gemeinschaftliche Form entleert werden, so ist es erforderlich, das Ausgießen so zu regeln, daß der Metallstrahl ununterbrochen in die Form einfließt. Tritt nur für einen Augenblick eine Unterbrechung ein, so veranlaßt das an der Oberfläche sofort sich bildende Oxydhäutchen die Entstehung einer unganzen Stelle (Kaltschweiße genannt), wo der Zusammenhang des Stahls unvollständig ist, und das Gußstück ist dann unbrauchbar. Mit der Größe der zu gießenden Blöcke oder Abgüsse, mit der Anzahl der Tiegel also, welche entleert werden müssen, wächst die Schwierigkeit der Erfüllung jener Bedingung. Eine mit feuerfester Masse ausgekleidete Rinne wird nach der Form geleitet, und in dieser Rinne entleeren die Arbeiter in genau geregelter Aufeinanderfolge ihre Tiegel; 1200 Tiegel von je 40 kg Inhalt werden auf diese Weise mitunter in eine einzige Gußform entleert, wofür etwa 30 Minuten Zeit erforderlich sind. Bisweilen stellt man auch wohl über der Gußform ein topfartiges, mit feuerfester Masse ausgekleidetes und mit einer Ausflußöffnung im Boden versehenes Gefäß auf, in welches rasch die Tiegel ausgegossen werden, so daß nunmehr ein gleichmäßiger Strahl des flüssigen Metalls aus jener Öffnung in die Form gelangt; oder man entleert die Tiegel zunächst in eine stark vorgewärmte Gießpfanne, aus welcher nunmehr erst die Gußform gefüllt wird. Letzteres Verfahren hat den Vorteil, daß etwaige Abweichnngen in der Zusammensetzung des Inhalts verschiedener Tiegel dadurch leichter Ausgleich finden als beim unmittelbaren Eingießen in die Gußform.

Bei Darstellung des mehrfach erwähnten Mitisgusses dient eine mit besonderer Heizvorrichtung versehene Gießpfanne zur Aufnahme des strengflüssigen Metalls[1]).

Brauchbarer Tiegelstahl muß ruhig fließen und darf in der Form nicht steigen, als Beweis, daß er gelöste Gase nicht in bedeutender Menge erhält. Steigender Stahl ist Ausschuß.

Über den Brennstoffverbrauch beim Schmelzen wurde schon bei Besprechung der Schmelzöfen Näheres mitgeteilt. Eigentlicher Abbrand findet nicht statt, da eine Verbrennung der Bestandteile fast gänzlich ausgeschlossen ist; ein geringer Abgang aber, auf mechanischen Verlusten beruhend, ist unvermeidlich. Er beträgt 2 bis 4 v. H. des Einsatzgewichts.

e) Abarten des Verfahrens.

Obgleich ein vorzüglicher Tiegelstahl nur in der beschriebenen Weise, d. h. durch Schmelzen reinen Schweiß- oder Zementstahls, zu erlangen ist, hat man sich doch mehrfach bemüht, durch Anwendung anderer, billigerer Schmelzstoffe das gleiche Ziel zu erreichen.

So läßt sich durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen in geeigneten Gewichtsverhältnissen Tiegelstahl erzeugen, und zur Darstellung billigeren Tiegelstahls macht man bisweilen hiervon Anwendung. So z. B. schmelzt man wohl

[1]) Beschreibung: Revue universelle, a. a. O.

schwedisches, durch seine Reinheit von Fremdkörpern ausgezeichnetes Frischfeuereisen mit so viel Spiegeleisen zusammen, wie es dem Kohlenstoffgehalte des zu erzeugenden Stahls entspricht: der Mangangehalt des Spiegeleisens geht hierbei zum größten Teile in den Stahl über, worauf bei der Auswahl des Spiegeleisens Rücksicht zu nehmen ist. Immerhin ist es schwierig, auf diesem Wege einen Stahl von bestimmter Zusammensetzung und ausreichend frei von schädlichen Fremdkörpern zu gewinnen, welche von dem Roheisen mitgebracht wurden, und an Vorzüglichkeit steht er dem aus Schweißstahl erzeugten Tiegelstahl nach.

Auch durch Zusammenschmelzen von Eisenerzen und Roheisen läßt sich Tiegelstahl darstellen. Durch den Mangan-, Silicium- und Kohlenstoffgehalt des Roheisens wird hierbei der Eisengehalt der Erze zum Teil reduziert, und es entsteht ein Stahl, dessen Kohlenstoffgehalt von dem Verhältnisse der eingesetzten Körper zueinander und von ihrer chemischen Zusammensetzung abhängt. Durch Uchatius wurde das Verfahren in den fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts auf mehreren Werken Österreichs, Rußlands, Schwedens, Englands eingeführt, und man gab dem gewonnenen Stahle die Bezeichnung Uchatiusstahl. Das zu verwendende Roheisen, welches möglichst rein von schädlichen Beimengungen sein muß, wurde durch Eingießen in Wasser gekörnt und mit ebenfalls möglichst reinen, gepulverten Erzen zusammen in einen Graphittiegel eingesetzt. Außer den Eisenerzen fügte man auch etwas Braunstein bei, z. B. 100 Teile Roheisen, 25 Teile Spateisenstein, 1,5 Teile Braunstein; auch wohl etwas Salpeter und Holzkohle. Für weniger harten Stahl setzte man noch außerdem 12 bis 20 Teile Schmiedeeisen auf 100 Teile Roheisen zu.

Größer noch als beim Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen ist aber bei diesem Verfahren die Schwierigkeit, ein von nachteiligen Fremdkörpern freies Erzeugnis mit gerade dem Kohlenstoffgehalte zu erlangen, wie man beabsichtigt hatte, da für den Verlauf der Reduktion des Erzes in jedem einzelnen Falle nicht allein das Gewichtsverhältnis zwischen Erz und Roheisen und die chemische Zusammensetzung dieser Körper, sondern auch die herrschende Temperatur und die Beschaffenheit der Tiegel maßgebend sind. Außerdem machte man die Beobachtung, daß der gewonnene Stahl, selbst wenn er anfänglich als vortrefflich sich erwies, doch beim Härten rasch an Güte verlor und leicht Risse bekam[1]). Das Verfahren ist kaum noch irgendwo in Anwendung.

Ferner läßt sich durch Schmelzen von Schmiedeeisen mit Kohle im Tiegel Tiegelstahl erzeugen. Das Verfahren hat zwar im Großbetriebe keine Benutzung gefunden, bildet aber die Grundlage für die in Zentralindien seit dem Altertume geübte Darstellung des berühmten, für Hieb- und Stichwaffen verwendeten Wootz- oder Damaststahls. Wie man erzählt, werden zu diesem Zwecke kleine Stücke des in Stücköfen aus Erzen dar-

---

[1]) Einiges Nähere hierüber: Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1886, Seite 782.

gestellten Schweißeisens zusammen mit Holzstücken in einen Tiegel gepackt und stark erhitzt. Wo das Holz, welches rasch verkohlt, mit dem Eisen in Berührung war, wird ein kohlenstoffreicheres und deshalb in niedrigerer Temperatur schmelzendes Eisen gebildet, welches flüssig wird und die Zwischenräume zwischen den nicht geschmolzenen Stücken ausfüllt. Man läßt den Tiegel erkalten und zerschlägt ihn. Das Erzeugnis ist Schweißeisen, von zahlreichen Stahladern durchzogen, so daß es die Zähigkeit des ersteren mit der Härte des letzteren vereinigt. Es wird ausgeschmiedet und weiter verarbeitet; die fertigen Klingen werden mit Säure geätzt, wobei die weicheren Teile stärker als die härteren angegriffen werden, so daß jene unregelmäßigen Figuren, der Damast, entstehen, welche mitunter mit Gold oder Silber ausgelegt werden.

Zur Gewinnung von Tiegelstahl für große Abgüsse, insbesondere für große Formgußstücke, bedient man sich bisweilen eines Verfahrens, welches seinem Wesen nach sich allerdings nur bedingungsweise als Tiegelstahlerzeugung bezeichnen läßt. Es ist eine Veredelung gewöhnlichen Flußstahls durch nachträgliche Erhitzung im Tiegel. Der durch eins der unten beschriebenen Verfahren (Martin- oder Bessemerverfahren) erzeugte Stahl wird, ohne zuvor zum Erstarren gebracht zu werden, in Tiegel ausgegossen und in einem Tiegelschmelzofen mit Siemensfeuerung eine halbe Stunde oder länger erhitzt. Alsdann folgt das Ausgießen in der üblichen Weise. Bei dieser Erhitzung unter Abschluß äußerer Einflüsse werden Oxyde, welche noch im Rohstahl gelöst waren, teils ausgeschieden, teils durch den Kohlenstoffgehalt der Tiegel zerlegt, ohne daß Gelegenheit zur Neubildung von Oxyden gegeben ist; gelöste Gase können entweichen, und für die Wiederaufnahme von Gasen fehlt gleichfalls die Gelegenheit. Das Metall wird veredelt; aber daß es dem in gewöhnlicher Weise erzeugten eigentlichen Tiegelstahle vollständig gleichwertig werde, läßt sich um so weniger erwarten, da die chemische Zusammensetzung des durch andere Verfahren gewonnenen und für den erläuterten Zweck benutzten Flußstahls in stärkerem Maße als die Zusammensetzung des für Tiegelstahlerzeugung benutzten Schweiß- und Zementstahls Schwankungen unterliegt.

f) der chemische Verlauf des Tiegelstahlschmelzens.

Der in die Tiegel eingesetzte Stahl bringt stets eine gewisse Menge von Oxyden mit. Die einzelnen Stücke sind mit Oxyduloxyd (Hammerschlag) überzogen, auch wohl hier oder da etwas angerostet; im Schweißstahl ist Schlacke eingegossen, welche als Hauptbestandteil Eisenoxyduloxyd enthält. Außerdem befindet sich atmosphärische Luft im Tiegel zwischen den einzelnen Stücken des Einsatzes. Beim Schmelzen bilden die vorhandenen oder unter der Einwirkung der eingeschlossenen Luft gebildeten Oxyde zunächst eine eisenreiche Schlacke, welche oxydierend auf den Kohlenstoffgehalt des Stahls einwirkt. Kohlenoxyd wird entwickelt und ruft das oben erwähnte Wallen des Stahls hervor; die Schlacke ist wegen ihres reichen Eisengehalts dickflüssig und erstarrt

löcherig wegen des Entweichens von Kohlenoxyd. Sind die Tiegel graphitarm, so kann demnach in diesem Abschnitte des Schmelzens eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts eintreten. Müller fand, daß beim Schmelzen eines Frischfeuerstahls mit 0,94 v. H. Kohlenstoff in kohlenstofffreien Tontiegeln der Kohlenstoffgehalt sich auf 0,49 v. H. verringerte[1]).

Enthalten aber die Tiegel einigermaßen beträchtliche Mengen von Kohlenstoff (Graphit), so wird hierdurch Ausgleich geschaffen, und eine Kohlenstoffabnahme im Stahle ist nicht bemerkbar.

Bei Fortsetzung des Schmelzens wird allmählich die Schlacke eisenärmer, teils wegen der Einwirkung des Kohlenstoffgehalts der Tiegel und des Stahls auf ihren Eisenoxydulgehalt, außerdem auch, weil Tiegelmasse aufgelöst und dadurch die Schlackenmenge vermehrt wird. Die Schlacke wird dünnflüssiger und verliert ihre oxydierende Wirkung, die Berührung des beim Auflösen der Tiegelmasse freigelegten Kohlenstoffs mit dem jetzt hocherhitzten Stahl aber gibt diesem Gelegenheit, noch Kohle aufzunehmen. Je kohlenstoffreicher die Tiegel sind und je kohlenstoffärmer der Einsatz, desto deutlicher zeigt sich diese Kohlenstoffaufnahme. Daneben findet Reduktion von Silicium aus den Tiegelwänden und Aufnahme durch das geschmolzene Metall statt. Ein hoher Kohlenstoffgehalt des Stahls und hohe Temperatur befördern diesen Vorgang. Nachstehende Ziffern, welche verschiedenen, teils von Müller[2]), teils von mir[3]) angestellten Versuchen entstammen, können zur Beleuchtung des Einflusses eines abweichenden Kohlenstoffgehalts der Tiegel auf die Zusammensetzung des erfolgenden Stahls dienen.

Tontiegel mit nur 5 v. H. Kokszusatz, also etwa 4 v. H. Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweißstahl vor dem Schmelzen	0,78	0,10	0,17
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	0,70	0,14	0,12
Tiegelstahl	0,45	0,08	0,11
Derselbe, nochmals geschmolzen	0,33	0,10	n. best.
Tiegelstahl	1,26	0,30	1,40
Derselbe, nochmals geschmolzen	1,03	0,48	0,83

Graphittiegel mit etwa 25 v. H. Kohlenstoff (Ledebur).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweißstahl vor dem Schmelzen	0,73	0,02	0,18
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	0,75	0,06	0,18
Schweißstahl vor dem Schmelzen	0,94	0,10	0,26
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	0,74	0,10	0,26

[1]) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 699 und 700. Die hier beobachtete Kohlenstoffabnahme fand während der gesamten Zeitdauer des Schmelzens (nicht bloß während des Einschmelzens) statt.

[2]) „Stahl und Eisen" 1885, Seite 182; 1896, Seite 700.

[3]) Ebendaselbst 1885, Seite 371.

Tiegel aus 3 Teilen Graphit und 3¼ Teilen Ton, also mit etwa 40 v. H. Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweißstahl vor dem Schmelzen	0,94	0,02	0,24
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	1,19	0,36	n. best.
„ „ „ „ zweimal. „	1,27	0,68	0,22
Schweißeisen vor dem Schmelzen	0,05	0,02	0,08
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	0,25	0,08	n. best.
„ „ „ „ zweimal. „	0,35	0,26	„

Englische Tiegel mit etwa 50 v. H. Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweißstahl vor dem Schmelzen	1,12	0,02	0,18
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	1,15	0,35	n. best.
„ „ „ „ zweimal. „	1,10	0,61	0,14
Schweißeisen vor dem Schmelzen	0,09	0,02	0,09
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	0,32	0,20	n. best.
„ „ „ „ zweimal. „	0,39	0,39	0,10

Tiegel aus 5 Teilen Graphit und 1 Teil Ton, also etwa 70 Teilen Kohlenstoff (Müller).

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Schweißstahl vor dem Schmelzen	0,91	0,03	0,21
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	1,13	0,31	n. best.
„ „ „ „ zweimal. „	1,45	0,62	0,19
Schweißeisen vor dem Schmelzen	0,04	Spur	0,11
Daraus erfolgter Tiegelstahl nach einmal. Schmelzen	0,72	0,29	n. best.
„ „ „ „ zweimal. „	0,67	0,62	0,09

Im allgemeinen ist die Anreicherung des Kohlenstoff- und des Siliciumgehalts in den kohlenstoffreichsten Tiegeln am stärksten; aber die Versuche zeigen auch, daß Nebenumstände, welche sich nicht immer mit Sicherheit aufklären lassen, z. B. Eintreten oxydierender Gase in den Tiegel, eine Rolle spielen können. Beim Schmelzen von Stahl in Tiegeln mit 50 v. H. Kohlenstoffgehalt ist der Kohlenstoffgehalt unverändert geblieben, während der Siliciumgehalt beträchtlich zunahm; bei dem einen Schmelzversuche in Graphittiegeln mit 25 v. H. Kohlenstoff zeigt sich sogar eine Kohlenstoffabnahme, ohne daß etwa der verschwundene Kohlenstoff zur Reduktion von Silicium verbraucht worden wäre.

Daß ein hoher Kohlenstoffgehalt der Tiegel auch für die Reduktion von Silicium förderlich ist, zeigt sich deutlicher als hier bei einigen von Reiser angestellten Versuchen[1]). In drei Tiegeln mit verschiedenem Graphitgehalte wurden gleiche Einsätze, bestehend aus 30 Teilen Rohstahl und 70 Teilen Schmiedeeisen, geschmolzen. Nach dem Schmelzen ergab die Untersuchung einen Siliciumgehalt der drei Stahlsorten:

[1]) Persönliche Mitteilungen des Herrn Bergrat Reiser in Kapfenberg.

in Bauxittiegeln mit etwa 9 v. H. reinem Kohlenstoffgehalte geschmolzen Si = 0,144;
in gewöhnlichen Tiegeln mit etwa 28 v. H. reinem Kohlenstoffgehalte geschmolzen Si = 0,274;
in gewöhnlichen Tiegeln mit etwa 40 v. H. reinem Kohlenstoffgehalte geschmolzen Si = 0,392.

Schon oben wurde erwähnt, daß durch einen hohen Gehalt des Einsatzes an metallischem Mangan ebenfalls die Aufnahme von Kohlenstoff und Silicium befördert werde. Unter Umständen kann Roheisen beim Schmelzen entstehen, während die Tiegel stark angegriffen werden. Zur Untersuchung dieses Einflusses wurde auf meine Veranlassung in einer Tiegelstahlhütte Frischfeuerstahl teils ohne, teils mit Zusatz von Eisenmangan, welches 4,70 v. H. Kohlenstoff, 46,54 v. H. Mangan, 2,70 v. H. Silicium enthielt, geschmolzen, worauf die Stahlblöcke von mir untersucht wurden.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
der Rohstahl enthielt	1,29	0,12	0,01
der Tiegelstahl aus diesem Rohstahle ohne Manganzusatz, in Tiegeln mit etwa 40 v. H. Kohlenstoffgehalt geschmolzen, enthielt	1,24	0,15	0,24
ein Einsatz aus 100 Teilen Rohstahl und 2 Teilen Eisenmangan enthielt.	1,34	1,01	0,05
der Stahl aus diesem Einsatze, in Tiegeln mit etwa 40 v. H. Kohlenstoff geschmolzen, enthielt	1,86	0,75	0,49

Bei einem anderen Versuche wurde Rohstahl teils wiederum für sich, teils unter Zusatz von 1/28 seines Eigengewichts Eisenmangan mit 6,61 v. H. Kohlenstoff, 72,76 v. H. Mangan, 0,69 v. H. Silicium geschmolzen. Es ergab sich:

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Einsatz ohne Manganzusatz vor dem Schmelzen .	0,73	0,13	0,02
Daraus erfolgter Stahl	0,75	0,18	0,08
Einsatz mit Manganzusatz vor dem Schmelzen . .	0,92	2,63	0,04
Einsatz mit Manganzusatz nach dem Schmelzen .	2,81	1,32	0,37

Hier war demnach Roheisen entstanden. Die bedeutende Anreicherung des Kohlenstoffgehalts beruht vornehmlich auf dem Umstande, daß durch einen Teil des zugesetzten Mangans der Tongehalt der Tiegel verschlackt, dadurch der Graphitgehalt freigelegt und der Auflösung durch das flüssige Metall preisgegeben wird.

Je länger der Stahl noch zum Zwecke des Abstehens im Tiegel verweilt, nachdem die eigentliche Schmelzung vollbracht ist, desto deutlicher macht sich der Einfluß des Mangangehalts geltend, wie nachstehender, von Müller angestellter Versuch erweist:[1])

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Einsatz mit Eisenmanganzusatz, vor dem Schmelzen	1,08	2,45	0,14
Erfolgter Stahl nach 1/4 stündigem Abstehen . . .	1,04	1,82	0,19
Erfolgter Stahl nach 1 3/4 stündigem Abstehen in hoher Temperatur	1,36	0,83	0,64

[1]) „Stahl und Eisen" 1886, Seite 698.

Während in allen Fällen, wo der Einsatz metallisches Mangan enthält und die Schlacke anfänglich frei von Mangan ist, eine Abnahme des Mangangehalts im Stahle durch Verschlackung eintritt, wird umgekehrt aus der Schlacke Mangan reduziert, wenn man beim Schmelzen manganarmer Einsätze Braunstein zusetzt und hierdurch von vornherein Gelegenheit zur Bildung einer manganreichen Schlacke gibt. Auch in diesem Falle wird die Tiegelwand durch die manganreiche Schlacke stark angegriffen, ihr Kohlenstoffgehalt wird freigelegt, und der Stahl findet dadurch vermehrte Gelegenheit zur Kohlenstoffaufnahme; eine Reduktion von Silicium dagegen findet nicht in stärkerem Maße als ohne Braunsteinzusatz statt, da das Mangan, welches nur in metallischer Form als Reduktionsmittel für Silicium dienen kann, erst gegen Ende des Schmelzens selbst reduziert wird. Solange eine manganoxydulreiche und deshalb basische Schlacke zugegen ist, muß diese sogar die Reduktion des Siliciums erschweren. Bei zweimaligem Schmelzen von Schweißstahl in Tiegeln mit etwa 40 v. H. Kohlenstoff unter jedesmaligem Zusatz von 1 v. H. Braunstein fand Müller folgende Zusammensetzung:

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Einsatz vor dem Schmelzen	0,91	0,14	0,05
Daraus erfolgter Stahl nach einmaligem Schmelzen mit Braunsteinzusatz	1,31	0,56	0,20
Desgleichen nach zweimaligem Schmelzen mit Braunsteinzusatz	1,62	0,74	0,35

Der Widerspruch, daß bei dem Zusatze metallischen Mangans dieses zum Teil aus dem Eisen ausgeschieden und in die Schlacke geführt, bei dem Zusatze von Braunstein aber Mangan aus der Schlacke reduziert und in das Eisen geführt wird, findet seine Erklärung, wenn man die abweichende Zusammensetzung der entstehenden Schlacke ins Auge faßt. Bei Braunsteinzusatz zu einem manganarmen Stahle entsteht schon beim Schmelzen eine reichliche Schlackenmenge mit hohem Mangangehalte. Der Gehalt der Schlacke an Eisenoxydul wird hierdurch verdünnt, und die Fähigkeit des Eisenoxyduls, oxydierend auf die Bestandteile des Stahls zu wirken, wird abgeschwächt. Mangan wird aus der Schlacke reduziert. Schmelzt man dagegen einen an metallischem Mangan reichen Einsatz, so entsteht anfänglich aus den anwesenden Eisenoxyden eine geringere Menge eisenoxydulreicher Schlacke, welche das Bestreben besitzt, ihren Eisengehalt gegen das leichter oxydierbare Mangan des Einsatzes auszutauschen, und außerdem veranlaßt die Berührung des Metalls mit den kieselsäurereichen Wänden des Tiegels den Austausch von Mangan gegen Silicium. Bei welchem Verhältnisse des Mangangehalts in der Schlacke zu dem im Stahle Gleichgewichtszustand stattfindet, d. h. weder Reduktion noch Oxydation eintritt, ist bislang nicht ermittelt worden; jedenfalls ist die Zusammensetzung der Tiegel und die herrschende Temperatur auch hierfür maßgebend. Im übrigen verhalten sich auch zwei Einsätze mit gleich hohem Mangangehalte abweichend, wenn in dem einen Falle das Mangan bereits einen Bestandteil des eingesetzten Stahls bildete, in dem anderen Falle dagegen als Eisenmangan zugesetzt wurde. Letzteres enthält das Mangan im weniger

stark verdünnten Zustande; seine Wirkung ist kräftiger, zumal da es noch vor dem Stahle flüssig wird.

Enthalten die Tiegel Schwefel, aus dem dem Ton stets beigemengten Schwefelkies oder aus dem Koksschwefel herrührend, so kann beim Schmelzen eine Schwefelaufnahme durch das Metall stattfinden. Brand beobachtete bei einem länger fortgesetzten Schmelzen eines Einsatzes mit 0,029 v. H. Schwefel in Kokstiegeln mit 0,37 v. H. Schwefel eine allmähliche Anreicherung des Schwefelgehalts auf 0,051 v. H.; ähnliche Ergebnisse lieferte das Schmelzen in Graphittiegeln, und selbst beim Schmelzen in Magnesiatiegeln war eine Schwefelzunahme bemerkbar[1]). Der Mangangehalt des Einsatzes bei den hier erwähnten Versuchen betrug 0,74 v. H., war also nicht ganz unerheblich.

Der Phosphorgehalt der Tiegel ist kaum jemals so beträchtlich, um einen Einfluß zu üben. Daß eine Abscheidung von Phosphor beim Tiegelschmelzen nicht stattfinden kann, bedarf kaum der Erwähnung.

Über die Veränderungen, welche die Zusammensetzung der Schlacke beim Tiegelstahlschmelzen erleidet, fehlen bislang Ermittelungen. Nur vereinzelt sind überhaupt Untersuchungen von Tiegelstahlschlacken angestellt worden, und fast immer hat man die Endschlacken hierfür benutzt. Einige Beispiele der Zusammensetzung mögen hier folgen:

	I	II	III	IV
SiO_2 . .	40,40	41,24	40,86	44,36
Al_2O_3 . .	28,80	35,85	n. best.	18,05
FeO . .	1,08	2,80	4,00	4,41
Fe_2O_3 . .	—	—	—	3,66(?)
MnO . .	24,04	18,45	30,52	17,48
CaO . .	0,87	n. best.	n. best.	7,74
{Ca . . .	0,29	„	„	n. best.
{S . . .	0,28	„	„	„
MgO . .	Spur	„	„	„

I. Endschlacke vom Tiegelstahlschmelzen in Bochum, dunkelgrün, blasig; von mir untersucht. Zusammensetzung des Einsatzes unbekannt.

II. Graue Schlacke (Endschlacke), bei Erzeugung des auf Seite 277 III erwähnten Stahls mit 1,36 v. H. Kohlenstoff, 0,88 v. H. Mangan entstanden. Nach Müller („Stahl und Eisen" 1886, Seite 698).

III. Graue Schlacke (Endschlacke), beim Schmelzen von 29,2 kg Schweißstahl mit 0,8 v. H. Eisenmangan entstanden. Das Erzeugnis enthielt 2,60 v. H. Kohlenstoff, 1,17 v. H. Mangan und war demnach Roheisen. Nach Müller („Stahl und Eisen" 1886, Seite 699).

IV. Dunkelbraungrüne Schlacke, Probe unmittelbar nach beendigtem Einschmelzen eines Einsatzes mit 0,74 v. H. Mangan, 0,23 v. H. Kohlenstoff im Kokstiegel genommen. Der Mangangehalt hatte sich beim Einschmelzen auf 0,36 v. H. verringert. Nach Brand (Berg- und hüttenm. Zeitung 1885, Seite 106). Der höhere Eisengehalt dieser Schlacke entspricht dem oben geschilderten Verlaufe des Tiegelstahlschmelzens; daß indes, trotz der Berührung mit dem Kohlengehalte der Tiegel und trotz der bereits stattgehabten reichlichen Aufnahme von Kieselsäure, noch Eisenoxyd (Fe_2O_3) zugegen gewesen sei, ist nicht wahrscheinlich.

[1]) Berg- und hüttenm. Ztg. 1885, Seite 107, 117, 119.

g) Der Tiegelstahl.

Unter allen Arten des Stahls ist der Tiegelstahl der vorzüglichste. Wäre dem nicht so, würde man längst aufgehört haben, diesen gegenüber anderen Stahlsorten weit kostspieligeren Stahl zu fertigen. Die Erklärung hierfür findet man bei Erwägung folgender Tatsachen.

Bei Darstellung von Stahl im Flammofen (Martinofen) ohne die schützende Umhüllung des Tiegels oder in der Bessemerbirne (Thomasbirne) ist der Stahl der Berührung mit oxydierenden Gasen preisgegeben. Eisenoxydul entsteht und löst sich im Metallbade; auch wenn dieses noch ziemlich kohlenstoffreich ist, vermag es Eisenoxydul aufzunehmen, welches durch den anwesenden Kohlenstoffgehalt nur dann allmählich zerstört werden könnte, wenn es möglich wäre, das Metall lange genug flüssig zu erhalten, ohne ihm Gelegenheit zu erneuter Sauerstoffaufnahme zu geben. Man gibt also, um die Zersetzung des Eisenoxyduls zu beschleunigen, einen Zusatz von Mangan (Silicium, Aluminium). Neue Oxyde entstehen; aber sie treten nicht augenblicklich aus, sondern werden vorläufig noch in der Flüssigkeit zurückgehalten, sei es in wirklicher Lösung, sei es in feiner Zerteilung wie ein Niederschlag, den man in wässeriger Lösung gebildet hat. Ein baldiges Ausgießen des fertigen Stahls aber muß erfolgen, damit er nicht aufs neue Sauerstoff aufnehme, und demnach ist das erstarrte Metall nicht frei von Oxyden, welche sein Verhalten benachteiligen. Bei der Bereitung des Tiegelstahls ist durch die kohlenstoffhaltigen Tiegelwände eine Berührung des Metalls mit oxydierenden Gasen unmöglich gemacht, und selbst wenn im Beginne des Schmelzens kleine Mengen von Oxyden gelöst werden sollten, werden sie beim Abstehen des Stahls zerstört, ohne daß ein Zusatz eines Fremdkörpers erforderlich ist. Die Ursache der Verschlechterung des Stahls fällt demnach hier weg.

Der nämliche Umstand liefert die Erklärung dafür, daß der abgestandene Tiegelstahl beim Gießen weniger Gase entwickelt und demnach blasenfreiere Abgüsse liefert, als jeder durch andere Verfahren erzeugte Flußstahl. Eine Gelegenheit zur Neubildung von Kohlenoxydgas ist nach dem Abstehen des Tiegelstahls nicht mehr vorhanden; auch die Gelegenheit zum Lösen von Wasserstoffgas ist geringer, da eine Berührung mit Wasserdampf nicht mehr stattfindet. Daß aber auch die sorgfältigste spätere Bearbeitung blasigen Flußeisens nicht imstande ist, die nachteilige Wirkung der Gasentwickelung beim Gießen ganz zu beseitigen, wurde früher erläutert; das Metall ist vorzüglicher, wenn die Gasentwickelung beschränkt war.

Wie schon erwähnt wurde, ist aus den nämlichen Gründen eine Veredelung von Martin-, Bessemer- oder Thomasstahl erreichbar, wenn man ihn nach Zusatz von Eisenmangan in Tiegel ausgießt und einem längeren Abstehen im Tiegelofen unterwirft. Die neu entstandenen Oxyde finden Zeit auszutreten, gelöst gewesenes Gas entweicht.

Beispiele der Zusammensetzung des für Werkzeuge und ähnliche Zwecke bestimmten Tiegelstahls.

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor	Schwefel	Wolfram	Chrom	Molybdän
Englischer Tiegelstahl für Fräser, nach Thallner[1]	1,46	0,15	0,38	0,032	0,014	—	—	—
Deutscher Tiegelstahl für Drehstähle, nach Bischoff[2]	1,24	n.best.	0,15	0,016	0,016	—	—	—
Steirischer Werkzeugstahl nach Bischoff[2]	1,12	„	0,23	0,023	0,024	—	—	—
Drehstahl, welcher trotz seines hohen Silicium- und Mangangehalts sich vortrefflich bewährte, nach Müller[3]	1,18	0,57	0,40	0,018	n.best.	—	—	—
Wie vorstehend	1,09	0,69	0,37	0,019	„	—	—	—
Werkzeugstahl von St. Etienne[4]	1,00	0,06	0,08	0,02	0,015	—	—	—
Werkzeugstahl von Kapfenberg, von mir untersucht	0,92	0,09	0,12	0,02	0,005	—	—	—
Sheffielder Stahl zu Döppern, nach Bischoff[2]	0,75	n.best.	0,23	0,04	0,022	—	—	—
Naturharter (ohne Ablöschen für Werkzeuge benutzbarer) Werkzeugstahl der Bethlehem Steel Company in Pennsylvanien (Taylor-White-Mushet-Stahl). In meinem Laboratorium untersucht (enthielt auch 0,22 v. H. Nickel und 0,06 v. H. Vanadin)[5]	2,29	0,51	1,99	0,08	n.best.	4,60	0,22	0,10
Naturharter amerikanischer Werkzeugstahl. Von mir untersucht	0,71	0,35	0,12	n.best.	n.best.	7,61	3,24	—

Sonstige Beispiele der Zusammensetzung von Wolfram- und Chromstahl sind auf Seite 25 und 26 III gegeben.

Beispiele der Zusammensetzung von Tiegelstahl-Gufsstücken[6].

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan
Glocken	1,30	0,25	0,80
Ringe für Erzwalzen	1,10	0,30	0,70
Wasserdruckzylinder, Herzstücke, Scheibenräder	0,90	0,25	0,60
Kleinere Maschinenteile	0,50	0,20	0,50

Die Zusammensetzung des Tiegelstahls, insbesondere sein Gehalt an Fremdkörpern (Mangan, Silicium, Phosphor, Schwefel, Kupfer) ist verschieden, je nachdem er dazu bestimmt ist, durch Schmieden, Pressen, Walzen weiter verarbeitet zu werden oder zur Herstellung

[1]) „Stahl und Eisen" 1899, Seite 872.
[2]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1885, Seite 781.
[3]) „Stahl und Eisen" 1888, Seite 377.
[4]) Berg- und hüttenm. Ztg. 1870, Nr. 3.
[5]) Vergl. auch „Stahl und Eisen" 1901, Seite 186 (britische Patentschrift 10738).
[6]) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 453.

von Formgußstücken zu dienen. Im ersteren Falle ist es doppelt wichtig, den Gehalt an solchen Fremdkörpern, welche stets nachteilige Einflüsse ausüben (Phosphor, Schwefel, Kupfer), tunlichst niedrig zu halten. Der Phosphorgehalt des vorzüglichsten derartigen Stahls beträgt bisweilen nicht mehr als 0,008 v. H. und bewegt sich in den gewöhnlicheren Fällen zwischen 0,01 bis 0,03 v. H.; der Schwefelgehalt pflegt höchstens 0,03 v. H., der Kupfergehalt höchstens 0,20 v. H. zu betragen. Einen Mangangehalt von 0,2 bis höchstens 0,3 v. H. sieht man wegen seines wohltätigen Einflusses auf die Schmiedbarkeit häufig nicht ungern, und man führt ihn durch Braunsteinzusatz dem Stahle zu, wenn der Einsatz nicht schon manganhaltig sein sollte; ein höherer Mangangehalt würde die Sprödigkeit merklich erhöhen. Ein Siliciumgehalt bis 0,2 wird in der Regel, wie oben besprochen wurde, beim Schmelzen aufgenommen und erleichtert die Erzeugung dichter Güsse; ein erheblich höherer Siliciumgehalt ist meistens nicht erwünscht. Soll der Stahl, zumal der für Werkzeugdarstellung bestimmte, einen höheren Härtegrad erhalten, als durch einen hohen Kohlenstoff allein erreichbar ist, so gibt man dem Einsatze einen Zusatz von Chrom, Wolfram oder beider Metalle zugleich.

Der Gehalt des Tiegelstahls an Kohlenstoff ist durch die ins Auge gefaßte Verwendung bedingt. Beispiele hierfür enthält die Zusammenstellung auf Seite 283 III.

Etwas reichere Mengen von Fremdkörpern als im Werzeugstahle findet man gewöhnlich in Formgußstücken; dagegen ist ihr Kohlenstoffgehalt durchschnittlich niedriger, sofern nicht etwa die Verwendung der Abgüsse ein hohes Maß von Härte bedingt. Die für den Werkzeugstahl wichtige Eigenschaft der Härtbarkeit ist hier von geringerm Belang, aber nach dem Ausglühen oder Anlassen soll der Stahl sich durch Zähigkeit auszeichnen. Unbenutzbar würden Abgüsse sein, welche reichlich von Gasblasen durchsetzt sind. Zur leichtern Erzielung dichter Güsse gibt man daher gern einen etwas höhern Mangan- und Siliciumgehalt als dem Werkzeugstahle; man findet bisweilen einen Mangangehalt bis nahe an 1,0 v. H. und einen Siliciumgehalt bis zu 0,7 v. H. Auch der Phosphorgehalt ist durchschnittlich höher als im Werkzeugstahle und beträgt in kohlenstoffärmeren Gußstücken bis 0,15 v. H.

7. Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen).

a) Allgemeines. Geschichtliches.

Bei den beiden in der Überschrift genannten Verfahren wird Gebläsewind durch flüssiges Roheisen geleitet, welches entweder unmittelbar aus dem Hochofen entnommen oder vorher in einem besonderen Ofen geschmolzen wurde. Die fremden Bestandteile des Roheisens, insbesondere Kohlenstoff, Silicium und Mangan, unter gewissen Bedingungen auch Phosphor, werden durch den hindurchströmenden Wind verbrannt und das Roheisen wird in schmiedbares Eisen umgewandelt.

Der Engländer Henry Bessemer nahm im Jahre 1855 ein Patent auf das Hindurchblasen von Luft oder Dampf[1]) durch flüssiges Roheisen, um es in Stahl umzuwandeln. Mehrere Jahre währte es, bis die ersten, nicht geringen Schwierigkeiten, welche sich der Anwendung des Verfahrens entgegenstellten, glücklich überwunden waren; schwedischen Eisenhüttenleuten, insbesondere dem Schweden Göransson im Eisenwerk Edske, gebührt das Verdienst, zur Vervollkommnung des Verfahrens wesentlich beigetragen zu haben[2]). Seit dem Beginn der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts aber fand es rasch Eingang auf verschiedenen Werken und erreichte alsdann eine Ausdehnung, welche erhebliche Änderungen im Eisenhüttenbetriebe veranlaßte. Flußstahl, welcher billiger zu gewinnen war, als der schon bekannte Tiegelstahl, und später auch weiches Flußeisen traten neben dem Schweißstahl und Schweißeisen auf den Eisenmarkt; allmählich lernte man auch die Erzeugungskosten der neuen Eisengattung so weit zu ermäßigen, daß sie auf den meisten Werken noch niedriger sich stellten als die des Schweißeisens. So verlor das letztere seine Alleinherrschaft und wurde von Jahr zu Jahr in umfänglicherem Maße durch Flußeisen ersetzt.

Bei diesem von Bessemer erfundenen Verfahren (Bessemerverfahren im engeren Sinne oder saures Verfahren genannt) dient ein kieselsäurereicher Baustoff zur Auskleidung der für die Durchführung erforderlichen Vorrichtung. Eisenoxyde, welche im Puddelofen seit Jahrzehnten sich gut für den gleichen Zweck bewährt hatten, erwiesen sich als ungeeignet in der für die Flußstahlerzeugung erforderlichen höheren Temperatur; einen anderen basischen und doch ausreichend feuerfesten Baustoff besaß man vorläufig nicht. Die beim Frischen entstehenden basischen Oxyde (Eisen- und Manganoxydul) haben demnach beim Bessemerverfahren ausreichende Gelegenheit, sich mit Kieselsäure zu sättigen; Phosphor wird ebensowenig als in anderen Fällen, wo eine kieselsäurereiche Schlacke sich bilden kann, abgeschieden. Um phosphorreines schmiedbares Eisen darzustellen, ist man gezwungen, phosphorreines Roheisen zu verwenden.

Dieser Umstand bildet eine Erschwerung für die Anwendung des Verfahrens in Gegenden, wo phosphorfreie Erze nicht vorhanden sind. Große Mengen spanischer und afrikanischer Erze sind seit der Einführung des Bessemerverfahrens auf englischen, deutschen und französischen Eisenwerken verhüttet worden, um ein für jenes Verfahren geeignetes phosphorarmes Roheisen zu gewinnen.

Daß es möglich sein werde, eine Entphosphorung des Roheisens beim Bessemern herbeizuführen, wenn es gelänge, durch basische Ausfutterung des Behälters und Anwendung basischer Zuschläge eine stark basische Schlacke zu bilden, war schon öfters als Ver-

---

[1]) Daß Dampf für diesen Zweck nicht benutzbar ist, da seine Zerlegung eine große Wärmemenge erfordert, welche dem Bade entzogen werden müßte, läßt sich leicht nachweisen.

[2]) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 920.

mutung, die durch Versuche im kleinen gestützt wurde, ausgesprochen worden; die Ausführung des Verfahrens im großen aber scheiterte an der Schwierigkeit, ein basisches Futter herzustellen, welches in der hohen Temperatur des flüssigen Erzeugnisses ausreichend haltbar ist. Den Engländern Thomas und Gilchrist gelang es im Jahre 1878 durch Anwendung eines aus gebranntem Dolomit hergestellten Futters (S. 191 I) und durch Zuschlag von gebranntem Kalk zu dem flüssigen Eisen diese Schwierigkeiten zu überwinden. Die ersten von Erfolg gekrönten Versuche im kleineren Maßstabe wurden auf dem Blaenavon-Eisenwerke in Wales ausgeführt; ihnen folgten umfänglichere Versuche in den Eston-Eisenwerken von Bolkow, Vaughan & Co. bei Middlesborough. Der Bericht aber, welchen die Erfinder auf der im Herbste 1878 in Paris abgehaltenen Versammlung des Iron and Steel Institute über die von ihnen erlangten Ergebnisse zu erstatten beabsichtigten, gelangte nicht einmal zur Verlesung; man hatte nach zahlreichen mißglückten Versuchen den Glauben verloren, daß es möglich sein werde, beim Bessemern den Phosphor abzuscheiden. Bereits im April 1879 konnte indes das Verfahren auf dem genannten Eisenwerke zu Middlesborough einer Reihe von Fachmännern vorgeführt werden, und in demselben Jahre wurde es auch schon in Deutschland eingeführt, zuerst auf den Rheinischen Stahlwerken bei Ruhrort und dem Hörder Bergwerks- und Hüttenvereine.

Man nennt das Verfahren in dieser Form Thomasverfahren oder basisches Verfahren. In Deutschland ist es, nachdem es in Großbritannien erfunden worden war, weiter ausgebildet worden, und für Deutschland hat es rasch eine größere Bedeutung als für alle übrigen Länder der Erde gewonnen. Denn Deutschland besitzt einen Reichtum an phosphorreichen Erzen (Minette in Lothringen, Bohnerze bei Peine S. 21, 231 I), ist aber arm an solchen, welche ein für das ältere Verfahren geeignetes Roheisen liefern können. Auch Schweden liefert nach Deutschland phosphorhaltige und zugleich eisenreiche Erze (S. 34 I) zu ausreichend niedrigen Preisen, um ihre Verhüttung lohnend erscheinen zu lassen. Von dem gesamten durch das Thomasverfahren gewonnenen Flußeisen liefert Deutschland ungefähr drei Viertel, nämlich 4 Millionen Tonnen; Großbritannien nur etwa 500 000 Tonnen[1]).

Beide Verfahren gemeinschaftlich — das saure und das basische — kann man vom wissenschaftlichen Standpunkte aus als Windfrischen bezeichnen, obgleich im Betriebe diese Benennung nicht üblich ist.

b) Die Temperatur beim Windfrischen.

Damit beim Windfrischen keine Erstarrung des flüssigen Metalls eintrete, ist es erforderlich, daß die Temperatur des aus Roheisen bestehenden Einsatzes während der Umwandlung in Flußeisen nicht allein nicht verringert, sondern noch über die höher liegende Erstarrungstemperatur des Erzeugnisses hinaus, gewöhnlich um mehrere

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 352.

Hundert Grade, gesteigert werde[1]). Fremder Brennstoff zur Erhitzung des Metalls während des Frischens gelangt nicht zur Anwendung; das Roheisen selbst muß demnach eine ausreichende Menge solcher Körper enthalten, welche bei ihrer Verbrennung die für die erforderliche Temperatursteigerung notwendige Wärmemenge entwickeln.

Mit einiger Annäherung läßt sich durch Rechnung ermitteln, in welchem Maße die einzelnen Bestandteile des Roheisens befähigt sind, durch ihre Verbrennung die Temperatur des flüssigen Metalls zu erhöhen. Zur Verbrennung dient atmosphärische Luft; jeder Gewichtsteil Sauerstoff, welcher die Verbrennung bewirkt, führt demnach 3,85 Gewichtsteile Stickstoff als Balast mit. Dieser Stickstoff sowohl als die entstehenden Verbrennungserzeugnisse (Kieselsäure, Manganoxydul, Eisenoxydul, Kohlenoxyd, Phosphorsäure) müssen auf die Temperatur des Eisenbades erwärmt werden und gebrauchen dazu einen bestimmten Teil der entwickelten Wärme, welche sich ergibt aus ihrem Eigengewichte mal ihrer spezifischen Wärme mal der Temperatur des Eisens; der noch übrig bleibende Rest der entwickelten Wärme kommt dem flüssigen Eisen zugute und erhöht dessen Temperatur um $\frac{W}{s}$ Grade, in welcher Formel W die an die Gewichtseinheit Eisen abgegebene Wärme, s die spezifische Wärme des flüssigen Eisens bedeutet. Ist Schlacke zugegen, so nimmt auch diese Wärme auf, und die Temperatursteigerung fällt entsprechend geringer aus; in folgendem, wo es sich mehr um einen Vergleich des Verhaltens der verschiedenen Körper als um eine genaue Berechnung der wirklich stattfindenden Temperatursteigerungen handelt, ist die von der Schlacke aufgenommene Wärme jedoch unberücksichtigt geblieben. Nicht ganz zuverlässig sind auch die angenommenen Ziffern der spezifischen Wärme, welche in Ermangelung genauer Versuchsergebnisse durch Rechnung gefunden werden mußten[2]).

Temperatursteigerung durch Verbrennung des Eisens. 1 kg Eisen, zu FeO verbrennend, liefert 1350 W.-E. (S. 57 I). Hierzu kommt die Wärme, welche das auf die Temperatur t zuvor erhitzte Eisen schon besaß. Spezifische Wärme des Eisens zwischen Null bis t Grad = 0,20; also gesamter Wärmegewinn = 1350 + 0,20 t.

Die Verbrennungserzeugnisse sind 1,28 kg Eisenoxydul mit der spezifischen Wärme 0,20 und 0,96 kg Stickstoff mit der spezifischen

---

[1]) Le Chatelier fand als Temperatur des Flußeisens bei Beendigung des Verfahrens 1580 bis 1640 Grad C. (Comptes rendus, Band 140, Seite 471.)

[2]) Die Ziffern der spezifischen Wärme der Gase sind aus einer in Th. Beckert, Leitfaden für Eisenhüttenkunde, 2. Aufl., auf Seite 172 enthaltenen Tabelle entnommen; die Ziffern der spezifischen Wärme des Eisens zwischen 0 und t Graden nach der Formel $c = c_0 + at$, bei t Graden nach der Formel $c = c_0 + 2at$ berechnet, worin $a = 0{,}000071$, $c_0 = 0{,}1053$ angenommen wurde (A. Wüllner, Die Lehre von der Wärme, 5. Aufl., Seite 581). Die Änderung, welche die spezifische Wärme des Eisens beim Schmelzen erleidet, mußte freilich hierbei unberücksichtigt bleiben. Die spezifische Wärme der übrigen Körper in hoher Temperatur mußte nach Maßgabe der für niedrigere Temperaturen ermittelten Werte geschätzt werden.

Wärme 0,29. Beide müssen auf die Temperatur t erhitzt werden. Demnach reiner Wärmegewinn durch Verbrennung von 1 kg Eisen:

$$1350 + 0{,}20\,t - (1{,}28 \cdot 0{,}20\,t + 0{,}96 \cdot 0{,}29\,t) = 1350 - 0{,}334\,t.$$

War t = 1500° C., so ist der dem flüssigen Metalle zugute kommende Wärmegewinn W = 849 W.-E., und wenn die spezifische Wärme des Metalls bei 1500 = 0,80 angenommen wird, ist die durch 1 v. H. verbrennenden Eisens hervorgerufene Temperatursteigerung $\frac{8{,}49}{0{,}8} = 28$ Grade. Sie ist demnach nicht erheblich.

Temperatursteigerung durch Verbrennung des Mangans. 1 kg Mangan entwickelt 1730 W.-E. (S. 58 I) und liefert dabei 1,29 kg Manganoxydul mit der spezifischen Wärme 0,20, während 0,96 kg Stickstoff mit erhitzt werden müssen (spezifische Wärme 0,29). Bei einer mittleren spezifischen Wärme des Mangans = 0,20 ergibt die Rechnung eine Temperatursteigerung durch die Verbrennung von 1 v. H. Mangan = 46 Grade.

Temperatursteigerung durch Verbrennung des Kohlenstoffs. Bei regelrechtem Verlaufe kann innerhalb des flüssigen, durch Kohlendioxyd in hoher Temperatur leicht oxydierbaren Metalls nur Kohlenoxyd CO entstehen. Enthalten die entweichenden Gase auch Kohlendioxyd, so findet man daneben fast regelmäßig freien Sauerstoff; ein Teil des Windes war unverzehrt durch das Metall hindurchgegangen und hatte hierbei noch Wärme mitgenommen. Der Fall kann demnach hier unberücksichtigt bleiben.

1 kg Kohle entwickelt 2470 W.-E,; die Verbrennungserzeugnisse sind 2,33 kg Kohlenoxyd mit der spezifischen Wärme 0,29 und 4,47 kg Stickstoff mit derselben spezifischen Wärme 0,29. Die mittlere spezifische Wärme des im geschmolzenen Eisens enthaltenen Kohlenstoffs ist nicht bekannt; da als spezifische Wärme des freien Kohlenstoffs bei 600° C. 0,38 bis 0,45 angegeben wird[1]), darf man als mittlere spezifische Wärme zwischen Null und 1500° ebenfalls 0,45 annehmen. Die Rechnung ergibt alsdann eine Temperatursteigerung durch Verbrennung von 1 v. H. Kohlenstoff = 6 Grade. Je höher die Temperatur des flüssigen Metalls bereits war, desto unbedeutender fällt der Rechnung gemäß die fernere Steigerung aus; es tritt bald ein Zeitpunkt ein, wo die Verbrennungserzeugnisse mehr Wärme gebrauchen, um auf die Temperatur des Bades erhitzt zu werden, als die Verbrennung liefert; die Temperatur des Bades muß also in diesem Falle bei Verbrennung des Kohlenstoffs abnehmen. Im Betriebe hat man längst beobachtet, daß der Kohlenstoffgehalt des Roheisens ohne Belang für die entwickelte Temperatur ist.

Temperatursteigerung durch Verbrennunng des Siliciums. 1 kg Silicium entwickelt bei der Verbrennung zu 2,14 kg Kieselsäure (Kieselsäureanhydrid) 7830 W.-E. (S. 59 I), wobei durch den erforderlichen Sauerstoff 3,82 kg Stickstoff mitgeführt werden. Nimmt man als mittlere spezifische Wärme des Siliciums 0,20, der Kieselsäure 0,25 an, so ist W = 7830 + 0,20 t — (214 · 0,25

[1]) A. Wüllner, a. a. O., Seite 585.

$+ 3{,}82 \cdot 0{,}29)\ t = 7830 - 1{,}44\ t$. Bei 1500° ist mithin W = 5670 W.-E. und die durch 1 v. H. verbrennenden Siliciums hervorgerufene Temperatursteigerung 190° C. Auch wenn die Ziffern für die spezifische Wärme von der Wirklichkeit abweichen sollten, ergibt sich doch aus der Berechnung, daß, wie die Erfahrungen des Betriebes bestätigt haben, schon ziemlich kleine Mengen Siliciums ausreichend sind, durch ihre Verbrennung wesentliche Temperatursteigerungen des Eisenbades hervorzubringen. Silicium bildet den eigentlichen Brennstoff des sauren Bessemerverfahrens.

Temperatursteigerung durch Verbrennung des Phosphors. Für den Verlauf des Thomasverfahrens ist das Verhalten des Phosphors wichtig. 1 kg Phosphor entwickelt bei seiner Verbrennung zu 2,29 kg Phosphorsäureanhydrid 5900 W.-E. (S. 59 I), wobei 4,00 Gewichtsteile Stickstoff mit erhitzt werden. Die mittlere spezifische Wärme des Phosphors kann = 0,18, diejenige der Phosphorsäure = 0,25 angenommen werden. Es ist demnach $W = 5900 + 0{,}18\ t - (2{,}29 \times 0{,}25 + 4{,}00 \times 0{,}29\ t) = 5900 - 1{,}55\ t$. Bei einer Temperatur des Eisens von 1500 Grad ergibt sich W = 3575 W.-E. und die durch 1 v. H. Phosphor hervorgerufene Temperatursteigerung = 120 Grad C. 5 Teile Phosphor rufen demnach eine ungefähr gleiche Temperatursteigerung hervor wie 3 Teile Silicium; Phosphor ist der wichtigste Brennstoff beim basischen Verfahren[1]). Dieser Umstand ist in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung. Die Darstellung eines siliciumreichen Roheisens ist wegen des höheren Verbrauches an Brennstoff und der geringeren Erzeugungsfähigkeit des Hochofens kostspieliger als die Darstellung weißen phosphorreichen Roheisens mit geringem Siliciumgehalte. Der Siliciumgehalt ist zur Erzeugung der erforderlichen Temperatur beim basischen Verfahren entbehrlich, sofern das Roheisen ausreichend phosphorreich ist.

Außer der chemischen Zusammensetzung beeinflußt auch die Menge des in einem Male zu erfrischenden Roheisens die Temperatur. Je mehr Roheisen in einem Einsatze verarbeitet wird, desto geringer sind die Wärmeverluste, bezogen auf die Gewichtseinheit des Metalls, desto höher fällt die Temperatur aus. Die Größe der zu verarbeitenden Einsätze hängt aber beim Bessemer- und Thomasverfahren nur ab von dem Fassungsraume des Behälters und der Leistungsfähigkeit des Gebläses, welches den Wind auf die zum Durchdringen des Eisenbades erforderliche Spannung zu verdichten hat. Jene Beeinträchtigung der Gleichförmigkeit des Erzeugnisses, welche bei der Erzeugung von Schweißeisen die Verarbeitung größerer Einsätze erschwert oder unmöglich macht, ist hier belanglos, da das erzeugte Eisen flüssig ist und durch den Wind selbst in stets erneuerter Mischung erhalten wird. Daher verarbeitet man im Großbetriebe der Jetztzeit selten kleinere Einsätze als 5 t, häufiger 10 bis 15 t, bisweilen 20 t. Ausnahmsweise

[1]) Auf die Rolle des Phosphors machte, bald nach Erfindung des basischen Verfahrens, Professor v. Ehrenwerth aufmerksam. Vergl. dessen „Abhandlungen über den Thomasprozeß“, Seite 44.

können freilich besondere Verhältnisse, insbesondere mangelnde Verwendung für sehr reichliche Eisenmengen, wohl Veranlassung zur Anlage von Vorrichtungen für Verarbeitung kleinerer Einsätze (0,8 bis 2 t) geben; man nennt in diesem Falle das Verfahren Kleinbessemerei.

Ferner ist die Zeitdauer des Frischens von Belang für die Höhe der entstehenden Temperatur, und diese Zeitdauer hängt ab von der Windmenge, welche in bestimmter Zeit dem Metalle zugeführt wird. In je kürzerer Zeit die Verbrennung bewirkt wird, desto geringer sind die Wärmeverluste, desto höher steigt die Temperatur des Metalls. Man regelt die Windmenge und somit die Zeitdauer des Frischens nach der Beschaffenheit des zur Verwendung stehenden Roheisens; sehr siliciumreiches Roheisen, welches schon im Anfange eine rasche Temperatursteigerung erfährt, muß langsamer, siliciumarmes rascher verarbeitet werden. Auch wenn letzteres reich an Phosphor ist (beim basischen Verfahren), bleibt doch die Notwendigkeit der raschen Verarbeitung bestehen, da die Hauptmenge des Phosphors erst nach dem Kohlenstoff verbrennt (S. 301 I) und das Metall, dessen Schmelztemperatur mit Abnahme des Kohlenstoffgehalts steigt, der Gefahr des Erstarrens unterliegen würde, wenn nicht durch Beschleunigung des Frischens vorgebeugt wird. In der Regel schwankt die Zeitdauer der Verarbeitung zwischen 10 bis 20 Minuten.

Kein anderes Verfahren ist befähigt, in so kurzer Zeit die Verarbeitung so bedeutender Mengen Roheisens zu schmiedbarem Eisen zu ermöglichen, und aus diesem Grunde ist die Erfindung des Windfrischens besonders für die Entwickelung des Großbetriebes von hervorragender Bedeutung geworden.

Auch die Anfangstemperatur des zu verfrischenden Roheisens übt ihren Einfluß auf die während und bei Beendigung des Frischens entstehende Temperatur. Mit der Anfangstemperatur steigt und fällt die Temperatur während des Frischens bis zum Ende. Für ein sehr siliciumreiches Roheisen würde eine hohe Anfangstemperatur ungünstig sein, weil alsdann die Temperatur während des Frischens leicht über das zweckmäßige Maß hinaus gesteigert werden würde; für ein siliciumarmes Roheisen ist eine hohe Anfangstemperatur notwendig.

c) Die Desoxydation und Kohlung des fertig geblasenen Metalls.

Die stets erneuerte Berührung des flüssigen Metalls mit freiem Sauerstoff begünstigt beim Windfrischen die Aufnahme von Sauerstoff (Eisenoxydul). Je ärmer an denjenigen Körpern, welche leichter als Eisen verbrennlich sind, insbesondere an Kohlenstoff, das Metall bereits geworden ist, desto größer ist sein Sauerstoffgehalt (S. 294 I). Eisenoxydulhaltiges Eisen aber ist rotbrüchig. Zur Zerstörung des gelösten Eisenoxyduls benutzt man fast immer einen Zusatz von Mangan[1]); neben dem Mangan fügt man mit-

[1]) Der Erfinder des Manganzusatzes ist Rob. Mushet, welcher 1856, ...t nach Bessemers Erfindung, sich das Verfahren in England ...n ließ.

unter Silicium (als Siliciumeisen oder Carborund, S. 235 III) zu, sofern ein mäßiger Siliciumgehalt wünschenswert ist. Daß ein Siliciumgehalt allein nicht die beabsichtigte Wirkung auszuüben befähigt sei und das Verhalten des Erzeugnisses schädigen könne, wurde mehrfach (S. 11, 234 III) erwähnt. Einen geringen Aluminiumzusatz gibt man mitunter nach dem Manganzusatz, um die Gasentwickelung beim Gießen zu beschränken (S. 235 III); auch eine Legierung aus Aluminium, Silicium und Mangan (SAM Legierung) findet neuerdings als Zusatz Benutzung.

Unterbricht man das Blasen, während das Metall noch einen höheren Kohlenstoffgehalt besitzt (bei der Erzeugung eigentlichen Stahls), so kann der Manganzusatz entbehrlich oder doch auf ein geringes Maß beschränkt werden; je kohlenstoffärmer das Metall geworden ist, desto reichlicher muß der Manganzusatz bemessen werden. Da nun aber die größte Menge des Sauerstoffs, welche das Eisen überhaupt aufzunehmen vermag, nach den auf S. 295 I mitgeteilten Versuchsergebnissen 0,25 v. H. beträgt, ist zu dessen Bindung nur ein Manganzusatz von etwa 0,86 v. H. erforderlich, und bei weniger hohem Sauerstoffgehalte würde auch ein noch geringerer Manganzusatz genügen. In der Regel gibt man jedoch einen mäßigen Überschuß, teils um die Einwirkung zu beschleunigen, teils auch um durch den zurückbleibenden Mangangehalt der Entstehung von Rotbruch, welcher durch einen etwa anwesenden Schwefelgehalt hervorgerufen werden könnte, entgegenzuwirken. Einiges Nähere über die übliche Höhe des Zusatzes ist unten bei Besprechung des Arbeitsverfahrens mitgeteilt.

Der Zusatz wird in der Form von Eisenmangan oder Spiegeleisen gegeben. Durch diese Körper aber wird zugleich um so mehr Kohlenstoff dem flüssigen Metalle zugeführt, je reichlicher der Zusatz bemessen wird. Da dieser um so knapper auszufallen braucht, je höher sein Mangangehalt ist, wählt man reiche Eisenmangane, wenn kohlenstoffarmes Flußeisen erzeugt werden soll, und der Betrieb auf diese Eisengattung ist überhaupt erst möglich geworden, nachdem man jene Eisenmangane im Hochofen darzustellen gelernt hatte.

Mitunter aber lassen die besonderen, bei Besprechung des Arbeitsverfahrens näher geschilderten Verhältnisse es auch bei der Arbeit auf ein kohlenstoffreicheres Erzeugnis zweckmäßig oder notwendig erscheinen, den Kohlenstoff beim Blasen annähernd vollständig zu verbrennen und erst dann wieder anzureichern. In diesem Falle kann ein Zusatz von Spiegeleisen mit geringerem Mangangehalte dem doppelten Zwecke dienen, Mangan und Kohlenstoff zuzuführen.

Will man dagegen einem entkohlten Flußeisen wieder reichliche Mengen von Kohlenstoff zuführen, ohne zugleich den Mangangehalt sehr anzureichern, so gibt die starke Neigung flüssigen, kohlenstoffarmen Eisens, bei Berührung mit Kohlenstoff diesen aufzunehmen, Gelegenheit hierzu. Man mischt dem übrigens fertigen Eisen, dessen Eisenoxydulgehalt bereits durch Manganzusatz zerstört worden ist, eine entsprechende Menge Kohle bei, welche rasch und ziemlich vollständig gelöst wird (seit 1889 zuerst durch

Darby eingeführt). Die Ausführung des Verfahrens im einzelnen kann in verschiedener Weise bewirkt werden. Auf einzelnen Werken benutzt man feingepulverte Kohle als Zusatz[1]; ein aus Eisenblech gefertigter trichterförmiger Behälter dient zu ihrer Aufnahme, und ein mit einem Schieber verfahrenes Ausflußrohr dient dazu, sie in das flüssige Metall zu führen, während dieses in die Gießpfanne abgelassen wird[2]). Auf anderen Werken formt man aus der gemahlenen Kohle unter Zusatz von etwas gelöschtem Kalk Ziegel, welche in das geschmolzene Metall getaucht und hier gelöst werden[3]). Als Kohle pflegt schwefelarmer Koks oder Graphit benutzt zu werden. Der stattfindende Verlust wird durch den Versuch ermittelt und bei den späteren Zusätzen berücksichtigt; bei Anwendung von Graphit beträgt er 15 bis 20 v. H. der zugesetzten Menge, bei Anwendung von Koks ist er größer. Wenn die Höhe dieses Verlustes ermittelt ist und bei Bemessung des Zusatzes berücksichtigt wird, läßt sich auch bei Herstellung kohlenstoffreichen Stahls die Erzielung eines bestimmten Kohlenstoffgehalts mit ziemlicher Sicherheit regeln. Ein Zusatz von Eisenmangan zur völligen Zerstörung des Eisenoxyduls im flüssigen Eisen und Beseitigung des Rotbruches ist auch bei Anwendung des Kohlenverfahrens unentbehrlich; nur das zur Kohlenstoffanreicherung dienende Spiegeleisen wird erspart[4]). Das Spiegeleisen aber führt nicht allein Kohlenstoff, sondern auch Eisen und Mangan zu, und die Menge des schließlich erfolgenden Flußeisens ist demnach bei Spiegeleisenzusatz entsprechend größer als bei der Kohlung durch unmittelbaren Zusatz. Dieser Umstand darf nicht außer acht gelassen werden, wenn man den Nutzen des Verfahrens richtig beurteilen will. Die Mehrzahl der Werke zieht die Kohlung durch Spiegeleisen vor, sofern man nicht ein sehr kohlenstoffreiches Erzeugnis gewinnen will.

d) Die Birne oder der Converter.

Die Birnen des Großbetriebes.

In der ersten Zeit nach Erfindung des Bessemerns benutzte man zur Durchführung des Windfrischens einen Behälter, seiner Form nach einem Kupolofen ähnlich, oben mit einem schräg stehenden Halse versehen, durch welchen die Gase entweichen

---

1) Eigentliches Darbyverfahren, in Deutschland durch Eisenwerk Phönix eingeführt.

2) Abbildung der Vorrichtung: „Stahl und Eisen" 1890, Seite 925.

3) Düdelinger Verfahren, „Stahl und Eisen" 1894, Seite 465; 1895, Seite 570.

4) So z. B. gebrauchte man nach Thielen („Stahl und Eisen" 1890, Seite 924) bei Eisenwerk Phönix zur Darstellung von Schienenstahl aus der Thomasbirne für eine Erzeugung von 9 bis 9,5 t als Zusatz:

a) Bei Kohlung durch Spiegeleisen:

Eisenmangan mit 60 v. H. Mangan	80 kg
Spiegeleisen mit 12 v. H. Mangan	600 „

b) bei Kohlung nach Darbys Verfahren:

Eisenmangan wie oben	80 kg
Spiegeleisen	— „
Koks	60 „

konnten [1]). Das geschmolzene Roheisen wurde durch eine seitliche, in entsprechender Höhe angebrachte, verschließbare Öffnung eingefüllt; der Wind strömte durch eine Anzahl Düsen, welche ringsherum am Umfange dicht über dem Boden angebracht waren, in den Ofen. Die Entleerung erfolgte durch Öffnung des Stichloches, wie bei Kupolöfen.

Eine solche Einrichtung besitzt jedoch mancherlei Nachteile. Ist das Metall durch irgend einen Zufall nicht heiß genug, so versetzt sich das Stichloch, und da eine Erhitzung von innen nicht möglich ist, kann es geschehen, daß die Düsen verstopft werden; außerdem ist die Ausbesserung des Ofens umständlich und zeitraubend.

Aus diesen Gründen hat man überall diese ursprüngliche Einrichtung aufgegeben. Man wendet Gefäße an, deren wesentliche Einrichtung von Bessemer selbst später eingeführt wurde. Ihre wichtigste Eigentümlichkeit besteht darin, daß sie mit zwei wagerechten Drehungszapfen aufgehängt sind und mit Hilfe einer Maschine, bei der Kleinbessemerei mit Hilfe eines Handrads und Getriebes, um diese Zapfen gedreht werden können, um gefüllt und entleert zu werden. Man nennt diese Vorrichtung im Deutschen ihrer birnenähnlichen Form halber Birne (Bessemerbirne, Thomasbirne) oder auch, die englische Bezeichnung wählend, Converter.

Die Birnen für das saure und für das basische Verfahren besitzen im wesentlichen die nämliche Einrichtung, sofern man von der abweichenden Beschaffenheit des Futters absieht; auf einige Unterschiede in den Abmessungen wird unten hingewiesen werden.

Die Abbildungen 379 bis 381 zeigen die Einrichtung der Thomasbirne eines rheinischen Eisenwerkes. Sie besteht aus einem schmiedeeisernen Mantel mit feuerfestem (in diesem Falle basischem) Futter. Von unten her strömt durch die Öffnungen im Boden der Gebläsewind ein; oben entweichen die Gase durch die verengte Mündung, welche auch zum Einbringen des flüssigen Roheisens und später zum Entleeren der Birne dient. Den ganzen verengten Teil nennt man den Hals der Birne. Die Mündung ist seitlich angeordnet, damit während des heftigen Kochens des Metalls Auswürfe nach Möglichkeit vermieden werden, doch findet man auf einzelnen, insbesondere amerikanischen Werken auch Birnen mit der Mündung in der Mitte. In jedem Falle muß die Mündung eine solche Lage haben, daß man, wenn die Birne auf dem Rücken [2]), ihre Achse also wagerecht liegt, imstande ist, durch die Mündung den Boden zu sehen, um etwaige Beschädigungen, Verstopfungen der Windeinströmungen usw. wahrnehmen zu können.

An dem Mittelstücke ist ein kräftiger Ring befestigt, an welchem sich die beiden einander gegenüberstehenden, zum Tragen und

---

[1]) Über die verschiedenen Wandlungen, welche anfänglich die Form des benutzten Behälters erlitt, berichtete H. Bessemer im Jahre 1886 dem Iron and Steel Institute. Der durch zahlreiche Abbildungen ergänzte Vortrag ist im Journal of the Iron and Steel Institute 1886, in deutscher Übersetzung in „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 789, veröffentlicht.

[2]) Den Rücken einer Birne nennt man die der Halsmündung gegenüberliegende, bei Abb. 380 also die links befindliche Seite.

Kippen der Birne dienenden Zapfen befinden. Der Ring ist gewöhnlich aus Stahl gegossen. Beide Zapfen ruhen in gewöhnlichen, entsprechend stark gebauten Lagern. Auf dem einen Zapfen (dem rechten Zapfen in Abb. 379) ist ein Getriebe befestigt, welches die Drehung beim Kippen und Wiederaufrichten der Birne vermittelt. Zur Ausführung dieser Bewegung dient fast immer eine senkrecht gerichtete Zahnstange, welche von einem Wasserdruckzylinder aus auf- und abwärts bewegt wird, je nachdem Druckwasser über oder unter den Kolben des Zylinders geleitet wird. Auch die abgebildete Birne wird in dieser Weise bewegt. Von dem zweiten Zapfen aus wird der Gebläsewind nach dem unter dem Boden der Birne befindlichen Windkasten geleitet. Zu diesem Zwecke ist der Zapfen hohl und durch eine Stopfbüchse mit dem Windzuleitungsrohre verbunden, so daß die Drehung der Birne vor sich gehen kann, ohne daß die Windzuströmung unterbrochen zu werden braucht. Abb. 379 läßt diese Einrichtung erkennen. Zur Verbindung des Zapfens mit dem Windkasten dient das ebenfalls in Abb. 379 erkennbare Rohr.

Der Windkasten besteht meistens aus Gußeisen, besser aus Stahlformguß und ist durch Bolzen mit Splinten oder mittels Schrauben am Mantel der Birne befestigt. Unten ist er durch eine Platte aus Gußeisen oder starkem Blech geschlossen, welche zwar zur Vermeidung von Windverlusten sich dicht an den Bord des Windkastens anlegen, aber auch sich leicht entfernen lassen muß, damit man im stande sei, von hier aus zu den im Boden angebrachten Windöffnungen zu gelangen, um sie, wenn erforderlich, von erstarrten Massen zu reinigen oder auszubessern. Die Befestigung der Platte läßt sich durch Klammern mit Keilen oder durch Bolzen mit Splinten bewirken.

Solange die mit flüssigem Metall gefüllte Birne aufrecht steht, verhindert der Druck des durch die Öffnungen des Bodens aufsteigenden Windes das Eintreten des Metalls in diese Öffnungen; wenn die Birne aber auf den Rücken gelegt ist, muß für das Metall ein ausreichender Raum bleiben, daß die Öffnungen sich oberhalb seines Spiegels befinden und man den Wind abstellen kann, ohne daß Metall in die Windöffnungen gelangt. Der Durchmesser des Kreises, innerhalb dessen die Windöffnungen angeordnet sind, muß demnach kleiner sein als der innere Durchmesser des Mittelstückes. Nicht selten gibt man deshalb der Birne am Boden einen kleineren Durchmesser als im Mittelstücke, so daß der untere Teil der Birne, wie in der Abbildung, trichterartige Form erhält. Notwendig ist jedoch dieser allmähliche Übergang nicht; bei der unten (Abb. 383) abgebildeten Birne steht das Mittelstück unvermitttelt auf der Ebene des Bodens.

Da der Boden in stärkerem Maße als das übrige Futter der Birne der Zerstörung preisgegeben ist, wird er fast stets für sich allein gefertigt und zum Auswechseln eingerichtet. Die Befestigung des Bodens an der Birne muß in solcher Weise bewirkt werden, daß das Auswechseln und die Verdichtung der Fuge zwischen dem Boden und dem Birnenfutter in möglichst kurzer Zeit sich bewerkstelligen läßt. Die Aufgabe läßt in verschiedener Weise sich erfüllen.

Bei der abgebildeten Birne steht der Boden, welcher die Form eines schlanken, abgestumpften Kegels besitzt, auf einer Gußeisenplatte, die Bodenplatte genannt, auf welcher er in einer zweiteiligen Form aufgestampft und gebrannt wurde, und läßt sich mit dieser durch den Windkasten hindurch herausziehen, nachdem die untere Verschlußplatte des Windkastens, der Windkastendeckel, entfernt ist und die Keile gelöst worden sind, welche jene Bodenplatte in ihrer

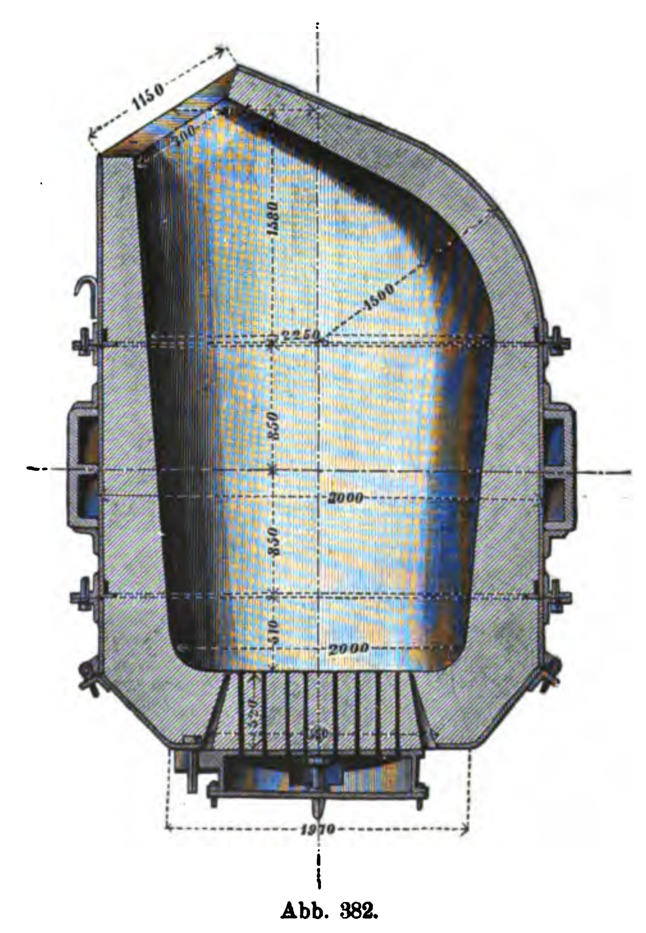


Abb. 382.

Lage festhalten und in Abb. 380 an der rechten Seite des Windkastens erkennbar sind. Zur Erleichterung der Arbeit ist unterhalb der Birne in einer Versenkung des Bodens ein Wasserdruckzylinder aufgestellt, dessen nach oben gerichtete Kolbenstange eine Plattform trägt; oder man benutzt eine fahrbare Wasserdruckpresse oder auch eine Winde. Man hebt die Plattform unter den Boden, löst die Keile und läßt die Plattform samt der durch einige Hammerschläge gelockerten Bodenplatte niedergehen; der Rest des alten Bodens wird dann herausgebrochen und in den noch warmen

Converter ein neuer Boden mit Hilfe der Plattform eingesetzt, worauf man durch Anziehen der Keile unter der Bodenplatte die Befestigung bewirkt. Die um den Boden verbleibende Fuge wird durch Ausstampfen oder Ausgießen mit breiartiger Masse (Teer und Dolomit beim basischen Verfahren) gedichtet.

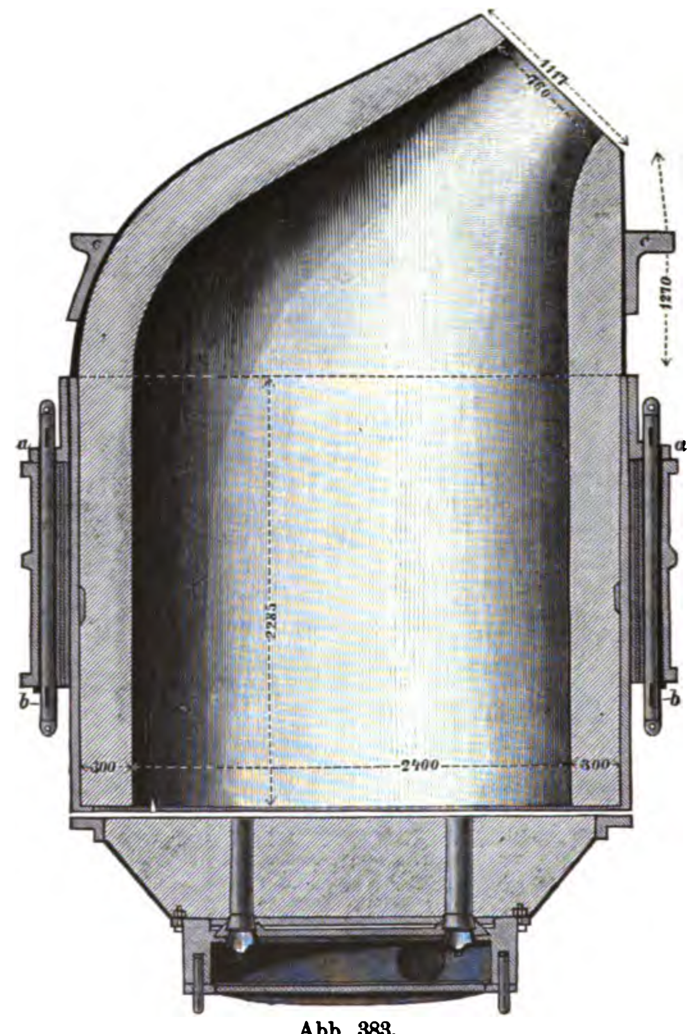


Abb. 383.

Mitunter gibt man auch dem Boden eine solche Form, daß die Fuge sich nach außen erweitert, um von hier aus durch Einstampfen von Masse geschlossen werden zu können (Holleyscher Losboden), wie in Abb. 382 (10 t Birne eines norddeutschen Werks) dargestellt ist. Der Boden der abgebildeten Birne steht nicht auf einer besonderen, zum Durchziehen durch den Windkasten be-

stimmten Platte, sondern auf der angegossenen Deckplatte des Windkastens selbst, so daß dieser mit entfernt und durch einen anderen ersetzt werden muß, wenn der Boden ausgewechselt werden soll. Der obere Bord des Windkastens, welcher zur Befestigung am Mantel dient, ist mit Durchbrechungen versehen, durch welche man, wie auf der rechten Seite der Abbildung erkennbar ist, in die Fuge gelangen kann. Wenn der Boden von unten her eingesetzt und der Windkasten befestigt ist, wird die Birne auf den Kopf gestellt, so daß man nun bequem von obenher das Einstampfen der Masse bewerkstelligen kann. Die Einrichtung, welche 1874 durch den Amerikaner Holley eingeführt wurde und damals erheblich zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Bessemerwerke beigetragen hat[1]), ist häufiger beim sauren als beim basischen Verfahren in Anwendung.

Eine noch andere Befestigungsweise zeigt die Abb. 383, die Birne eines nordamerikanischen Eisenwerks darstellend[2]). Hier ist die Fuge flach. Man bestreicht die obere Fläche des Bodens, soweit sie unter das Birnenfutter tritt, dick mit Masse und bewirkt die Verdichtung durch festes Anziehen der Keile, welche den Anschluß des Bodens an die Birne bewirken.

Wenn die Birne selbst neu ausgekleidet werden soll, ist es häufig, zumal beim sauren Verfahren, erforderlich, sie von ihrem Standorte zu entfernen, um in einer besonderen Werkstatt die Ausfutterung vornehmen und sie dann in Trockenkammern trocknen zu können. Zur Erleichterung dieser Arbeit zerlegt man bisweilen die Birne in mehrere Teile, welche voneinander gelöst werden können, um einzeln herausgehoben, ausgekleidet, getrocknet und erst an Ort und Stelle wieder zusammengesetzt zu werden. In Abb. 382 ist diese Einteilung erkennbar. Der Mantel ist an den Trennungsstellen mit angenieteten Winkeleisen versehen, und die Verbindung wird durch hindurchgesteckte Keile mit Bolzen bewirkt. Immerhin bleibt hierbei, wenn der Zapfenring mit der Birne fest verbunden ist, die Aufgabe lästig, die Deckel der Zapfenlager und die Verbindung des Windzapfens mit der Windleitung zu lösen. Das Auswechseln wird dagegen erleichtert, wenn man die Birne nicht fest mit dem Ringe verbindet, sondern so einrichtet, daß sie herausgenommen werden kann, während der schwere Ring in seinen Lagern liegen bleibt. Die Abb. 383 zeigt auch diese, zuerst von Holley auf mehreren amerikanischen Eisenwerken eingeführte Einrichtung. Die Birne ruht mit den angeschraubten Winkeln *a a* auf dem Ringe, solange sie aufrecht steht; wird sie auf den Kopf gestellt, d. h. um 180° gedreht, so wird sie durch Splinte *b b* im Ringe festgehalten. Entfernt man aber, während die Birne in letzterer Stellung sich befindet, die Splinte, so geht die Birne nach unten aus dem Ringe heraus. Zwischen dem Birnenmantel und der Innenfläche des Ringes ist ein Zwischenraum von ungefähr 20 mm Breite gelassen, so daß dieses Herausnehmen ohne Hindernis stattfinden kann; außerdem beabsichtigt man durch diese Ein-

---

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1874 I, Seite 368.
[2]) Nach Howe, Metallurgy of Steel, Band I, Seite 346.

richtung, der Birne Gelegenheit zur freien Ausdehnung beim Erhitzen zu geben. Damit sie trotzdem, auch wenn sie in wagerechter Lage sich befindet, ihre Stellung im Ringe nicht ändere, wird sie durch mehrere Stellschrauben festgehalten, welche durch den Ring hindurchgehen und gelöst werden können, wenn die Birne sich ausdehnt. Soll Auswechselung der Birne stattfinden, so wird die Birne auf den Kopf gestellt, ein eiserner Wagen, welcher mit Lagern zur Aufnahme der Birne versehen ist, wird darunter gefahren und durch den Kolben des unter der Birne befindlichen Wasserdruckzylinders so weit emporgehoben, bis die Birne mit dem Ringe *cc* darauf ruht. Nun löst man die Splinte *bb*, senkt den Wagen samt der Birne und fährt ihn davon. Das Einsetzen der Birne erfolgt mit Hilfe der nämlichen Vorrichtung.

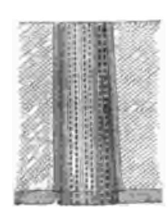




Abb. 384.

Mauert man indes die Birne aus, statt das Futter einzustampfen, so ist ein Herausnehmen überhaupt nicht erforderlich. Die Arbeit wird an Ort und Stelle bewirkt, und die Birne durch ein im Innern unterhaltenes Koksfeuer getrocknet. Bei dem basischen Betriebe ist dieses Verfahren jetzt am üblichsten.

Für die Verteilung der Windeinströmungsöffnungen im Boden gibt es zwei verschiedene Anordnungen. Bei der älteren Anordnung wird in den Boden eine Anzahl (gewöhnlich 13 bis 21) aus feuerfestem Ton gefertigter Formen oder Düsen (auch F e r e n genannt) eingesetzt, deren jede wieder mehrere (gewöhnlich 7 bis 12) Durchgangsöffnungen enthält. Abb. 384 zeigt eine solche in dem Boden befindliche Form im Aufriß und Grundriß. Auch in Abb. 383 sind die eingesetzten Formen erkennbar. Sie werden im Kreise verteilt, eine befindet sich gewöhnlich in der Mitte. Die Form Abb. 384 ist schon bei der Anfertigung des Bodens eingesetzt, wird von der Bodenplatte festgehalten und läßt sich nicht auswechseln; häufiger macht man die Formen am unteren Ende etwas stärker als oben, so daß sie erst in den bereits fertigen, mit entsprechenden Öffnungen versehenen Boden eingesetzt werden und sich nach Bedarf auswechseln lassen. Ein Riegel an der Bodenplatte oder irgend eine andere einfache Vorrichtung hält sie im Boden fest, so lange sie in Benutzung bleiben sollen. Bei der Birne Abb. 383 dient je eine ringförmige Schraube, deren Muttergewinde in der zum Tragen des Bodens bestimmten Eisenplatte sich befindet, zum Festhalten. Die Benutzung solcher für sich gefertigter Windformen gewährt den Vorteil, daß man auf ihre Herstellung besondere Sorgfalt verwenden und, indem man sie erforderlichenfalls auswechselt, den Boden längere Zeit brauchbar erhalten kann. Als Material für diese Düsen wird gute Schamottmasse für den sauren Betrieb, Graphit- und Magnesitmasse für den basischen Betrieb angewendet.

Bei der zweiten Anordnung sind die Windöffnungen in mehreren Kreisen verteilt (Abb. 381, 382) und werden in dem Boden selbst bei dessen Herstellung ausgespart. Man erzielt hierdurch eine gleichmäßigere Verteilung der eintretenden Windstrahlen

als bei der zuerst beschriebenen Anordnung, wo Strahlen in größerer Zahl büschelartig dicht nebeneinander aufsteigen; die Aufgabe des Windes wird hierdurch erleichtert. Die zuletzt beschriebene Anordnung kommt bei fast allen Thomasbirnen in Anwendung; bei Bessemerbirnen findet man nicht minder häufig auch die ältere Einrichtung mit besonderen Formen.

Die Birnen für die Kleinbessemerei.

Wie oben erwähnt wurde, können besondere Verhältnisse mitunter Veranlassung geben, die Birnen für die Verarbeitung kleinerer Einsätze als 3 t einzurichten. Die ersten erfolgreichen Versuche, Einsätze von selbst weniger als 1 t zu verarbeiten, wurden auf dem schwedischen Eisenwerke Avesta ausgeführt; später hat die Kleinbessemerei vorzugsweise in Amerika und Frankreich Eingang gefunden. In Deutschland ist sie ziemlich vereinzelt geblieben. Die Kosten des Erzeugnisses wachsen, wenn die Menge der Erzeugung niedriger wird. Vornehmlich bedient man sich der Kleinbessemerei in Fällen, wo das erzeugte Metall für Formgußdarstellung Verwendung finden soll. Das Verfahren gewährt hier den Vorteil, daß es billiger ist als das Schmelzen im Tiegel, sich jederzeit unterbrechen und rasch wieder beginnen läßt, und daß man leichter als beim Tiegelschmelzen auch ganz kohlenstoffarmes Flußeisen darstellen kann.

Gewöhnlich arbeitet man hierbei in Birnen mit saurem Futter. Die Einrichtung der meisten für die Kleinbessemerei bestimmten Birnen unterscheidet sich insofern von der Einrichtung der Birnen für den Großbetrieb, als bei ihnen der Wind nicht von unten, sondern von der Seite her in oder unter einem Winkel auf das Metallbad geführt wird. Man erreicht dadurch die Möglichkeit, mit geringerer Windspannung und demnach geringerer Betriebskraft arbeiten zu können. Auch legt man wohl die Düsen schräg gegen den Umfang der Birne, so daß das Metall durch den eintretenden Wind in kreisende Bewegung versetzt wird, ohne daß dieses jedoch ein Erfordernis für die Durchführung des Prozesses wäre.

Für das Kippen dieser kleinen Birnen genügt Menschenkraft. Von einem am Ständer gelagerten Handrade aus wird die Bewegung durch Vermittelung von Getrieben auf den Birnenzapfen übertragen.

Verschiedene Arten solcher Birnen für die Kleinbessemerei haben Eingang in den Betrieb gefunden. Besonders häufig werden in der Neuzeit eine von Robert[1]) und eine von Tropenas[2]) erfundene Birne genannt. Beide Erfinder sind Franzosen. Bei der nur untergeordneten Bedeutung, welche die Kleinbessemerei für den Eisenhüttenbetrieb besitzt, möge es genügen, hinsichtlich der Einrichtung der Birnen im einzelnen auf die in den Fußan-

---

[1]) Abgebildet in der Revue universelle Reihe III, Band 13 (1891), Seite 146, sowie in „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 455.

[2]) Abgebildet in „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 184.

merkungen sowie später unter Literatur genannten Abhandlungen zu verweisen.

Rauminhalt und Abmessungen der Birnen.

Während der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd findet ein heftiges Kochen des flüssigen Metalls statt. Damit nicht beträchtliche Metallverluste entstehen, muß der Rauminhalt der Birne erheblich größer sein als der Raum, welchen das flüssige Metall einnimmt.

Da beim basischen Verfahren eine reichlichere Schlackenmenge als beim sauren Verfahren entsteht, ist es zweckmäßig, den Birnen für das erstere Verfahren bei gleichem Einsatze einen entsprechend größeren Rauminhalt zu geben. Vergleicht man jedoch bei den in Benutzung befindlichen Birnen das Verhältnis zwischen Rauminhalt und Einsatzgewicht, so findet man beträchtliche Abweichungen. Manche Birnen für das basische Verfahren besitzen in Wirklichkeit einen geringeren Rauminhalt als andere für das saure Verfahren bei gleich großen Einsätzen. Nicht selten hat man die Birne ursprünglich für weniger große Einsätze bestimmt, später aber sie auch für größere Einsätze benutzt, nachdem man den Querschnitt der Windeinströmungsöffnungen entsprechend erweitert hatte. So erklärt sich der Widerspruch, daß, während bei manchen basischen Birnen der Rauminhalt für je 1 t Einsatz kaum 1 cbm beträgt, man bei sauren Birnen mitunter den anderthalbfachen Rauminhalt, bei amerikanischen Birnen sogar bis 1,8 cbm antrifft[1]). Die für das Thomasverfahren und Einsätze von 15 t bestimmte Birne (Abb. 380) hat 15 cbm Inhalt; die gleichfalls für das Thomasverfahren dienende Birne (Abb. 382) hat etwa 11 cbm Inhalt und wird für Einsätze bis zu 10 t benutzt; die für das saure Verfahren und Einsätze von 10 t bestimmte Birne (Abb. 383) dagegen besitzt einen Rauminhalt von 13 cbm. Je rascher das Blasen von statten geht, je heftiger demnach das eintretende Aufkochen ist, desto größer muß das Verhältnis zwischen Rauminhalt und Einsatz sein, wenn man Metallverluste vermeiden will. Jene großen amerikanischen Birnen sind meistens für sehr rasches Blasen bestimmt.

Ein Rauminhalt von 1 cbm bei sauren, von 1,2 cbm bei basischen Birnen für je 1 t Einsatz ist indes auch bei weniger raschem Blasen kaum zu reichlich bemessen. Da 1 t flüssiges Eisen etwa 0,14 cbm Raum einnimmt, erhält bei Innehaltung jenes Verhältnisses die saure Birne etwa den achtfachen Rauminhalt, die basische Birne den neunfachen Rauminhalt als das eingeschlossene Metall.

Von Wichtigkeit ist ferner die Höhe, welche das flüssige Metall innerhalb der Birne einnimmt und welche bei gegebenem Einsatzgewichte von dem Durchmesser der Birne abhängt. Mit dieser Höhe wächst die erforderliche Spannung des Gebläsewindes, welcher den Druck des flüssigen Metalls zu überwinden hat, und mit der Windspannung steigt die erforderliche Arbeitsleistung des

---

[1]) Nach Howe, „Stahl und Eisen" 1890, Seite 1036.

Gebläses. Ist die Höhe aber zu gering, so geht unverbrauchter Sauerstoff durch das Metall hindurch, wie die Gasanalysen nachweisen, und die Arbeit des Gebläses wird ungenügend ausgenutzt. Je höher die Temperatur in der Birne ist, desto stärker ist das Verbrennungsbestreben der Bestandteile des Eisenbades, desto weniger leicht geht auch bei geringer Höhe des flüssigen Eisens unverbrauchter Sauerstoff hindurch. Auf europäischen Werken findet man selten eine geringere Höhe als 500 mm, häufiger 500 bis 650 mm; bei nordamerikanischen Birnen begnügt man sich bisweilen mit einer Höhe von 320 bis 400 mm[1]). Man ermöglicht dadurch bei derselben Arbeit des Gebläses die Zuführung reichlicherer Windmengen in bestimmter Zeit und, sofern der Wind voll ausgenutzt wird, ein rascheres Frischen.

Die Stärke des feuerfesten Futters ist im Boden, welcher am raschesten abgenutzt wird, am bedeutendsten; in der Regel beträgt die Stärke des Bodens 550 bis 650 mm. Basische Böden fertigt man gewöhnlich etwas stärker als saure. Im Mittelstücke dagegen gibt man dem Futter Wandstärken von 200 bis 300 mm wenn es für das saure Verfahren bestimmt ist, 350 bis 450 mm für das basische Verfahren. Nach der Mündung hin kann das Futter allmählich schwächer werden.

Die Halsmündung ist bei Birnen von 5 bis 8 t 500 bis 600 mm, für Birnen von 10 bis 12 t 700 bis 1000 mm, für Birnen von 15 t 1100 bis 1200 mm im Lichten weit, ein zu geringer Durchmesser kann besonders beim basischen Verfahren eine Verstopfung durch emporgeworfene Schlacken veranlassen. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß mit der Größe des Einsatzes die Menge des in bestimmter Zeit zuzuführenden Windes und mit dieser die Menge der aus dem Birnenhalse ausströmenden Gase zunimmt. Ist die Halsmündung zu eng, so entsteht in der Birne eine erhöhte Gasspannung, zu deren Überwindung ein verstärkter Winddruck und somit eine größere Arbeitsleistung des Gebläses erforderlich wird, sofern man nicht Gefahr laufen will, langsamer blasen zu müssen, als für die erfolgreiche Durchführung des Verfahrens notwendig sein würde. Die Höhe des oberen Teiles (der Haube) pflegt 1500 bis 1800 mm zu betragen.

Diesen Verhältnissen entsprechend beträgt:

bei Birnen von 5 bis 6 t Inhalt der innere Durchmesser des Mittelstückes 1,6 bis 2 m, der äußere Durchmesser 2,2 bis 2,6 m, der Durchmesser des Kreises, innerhalb dessen sich die Windöffnungen befinden (des Düsenkreises), 0,9 bis 1,2 m, die Höhe von der Oberkante des Windkastens an gemessen etwa 4 m;

bei Birnen von 8 t Inhalt der innere Durchmesser 2,0 bis 2,2 m, äußere Durchmesser 2,4 bis 2,8 m, Düsenkreisdurchmesser etwa 1,2 m, Höhe 4,5 m;

bei Birnen von 10 bis 15 t Inhalt der innere Durchmesser 2,2 bis 2,5 m, äußere Durchmesser 3,0 bis 3,4 m, Düsenkreisdurchmesser 1,3 bis 1,5 m, Höhe 5 bis 5,5 m.

---

[1]) Nach Howe, „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1025.

Von dem Querschnitte der Windöffnungen (Düsen) hängt die Zeitdauer des Frischens ab. Auf je 1 t des Einsatzes bezogen, beträgt dieser Querschnitt 15 bis 20 qcm, je nachdem die Beschaffenheit des Roheisens langsames oder rasches Frischen erheischt. Der Durchmesser der einzelnen Düsen beträgt 10 bis 30 mm, ihre Zahl schwankt zwischen 50 bis 200. Je größer die Zahl und je kleiner der Durchmesser der Düsen ist, desto besser ist die Windverteilung; aber die für den Wind entstehenden Reibungsverluste wachsen, wenn der Durchmesser der Düsen abnimmt. Im allgemeinen wählt man die Zahl der Düsen größer und ihren Durchmesser kleiner, wenn sie in besonders gefertigten Formen (Abb. 384) angebracht, als wenn sie gleichmäßig im Boden verteilt sind.

Herstellung und Dauer des Futters.

Für die Herstellung des sauren Futters pflegt Sandstein oder Quarz benutzt zu werden, welcher gemahlen und mit nur ebensoviel feuerfestem Ton vermengt wird, als erforderlich ist, ihm in angefeuchtetem Zustande Bildsamkeit zu verleihen. Ganister (Seite 186 I) wird auf europäischen Werken mit Vorliebe für diesen Zweck verwendet.

Für die Herstellung des basischen Futters dient fast stets gebrannter Dolomit, welcher in der auf Seite 192 I beschriebenen Weise zubereitet und, um bildsam zu werden, mit Teer vermischt wird [1]).

Das Birnenfutter sowohl als der Boden werden entweder durch Mauerung aus vorher geformten Ziegeln oder durch Aufstampfen aus Masse hergestellt. Ersteres Verfahren ist sowohl bei saurem als basischem Futter üblicher; dagegen werden die Böden fast immer gestampft.

Beim Mauern des Futters gelten dieselben Regeln wie bei Herstellung feuerfesten Mauerwerkes überhaupt (Seite 199 I). Mauert man mit basischen Steinen, so verwendet man sie im rohen Zustande. Solche Steine werden aus magerer Dolomitmasse in besonders konstruierten Pressen (vielfach verbreitet ist die Presse von Brinck & Hübner in Mannheim) unter einem Druck von 300 bis 500 kg auf 1 qcm hergestellt, und ohne vorausgehendes Brennen eingesetzt. Das Brennen geschieht dann durch ein in der Birne unterhaltenes Koksfeuer.

Stampft man das Futter, so bedient man sich eines aus Eisenblech gefertigten Modells, welches die Abmessungen des inneren Birnenraumes besitzt und in den Mantel eingesetzt wird; in den Zwischenraum zwischen Modell und Mantel wird die Masse in einzelnen Lagen nach und nach eingeschüttet und festgestampft. Für die Herstellung des Bodens dient ein zweiteiliger Gußeisenkranz als Modell, welcher auf die Bodenplatte gestellt und dann innen mit Masse vollgestampft wird. Will man in den Boden später besondere Formen einsetzen, so stellt man beim Einstampfen des

---

[1]) Beispiel einer Dolomitaufbereitungs-Anlage: „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1201 und 1907, Seite 1066.

Bodens an ihre Stelle Holzmodelle, welche nach Beendigung der Arbeit herausgezogen werden; sollen dagegen die Windöffnungen einzeln im Boden verteilt werden, so setzt man an ihrer Stelle Stahlnadeln ein, welche in irgend einer geeigneten Weise befestigt und später ebenfalls herausgenommen werden. Abb. 385 zeigt eine solche Vorrichtung. Zu unterst steht der Windkasten *a*, auf dessen oberen abgedrehten Bord das ebenfalls abgedrehte Modell aufgesetzt wird. Die erwähnten Stahlnadeln stecken unten in Löchern der Bodenplatte und werden oben durch Schmiedeeisenringe festgehalten, welche von vier an das Modell angeschraubten Winkeln *ccc* mit sich kreuzenden Verbindungsstegen getragen werden.

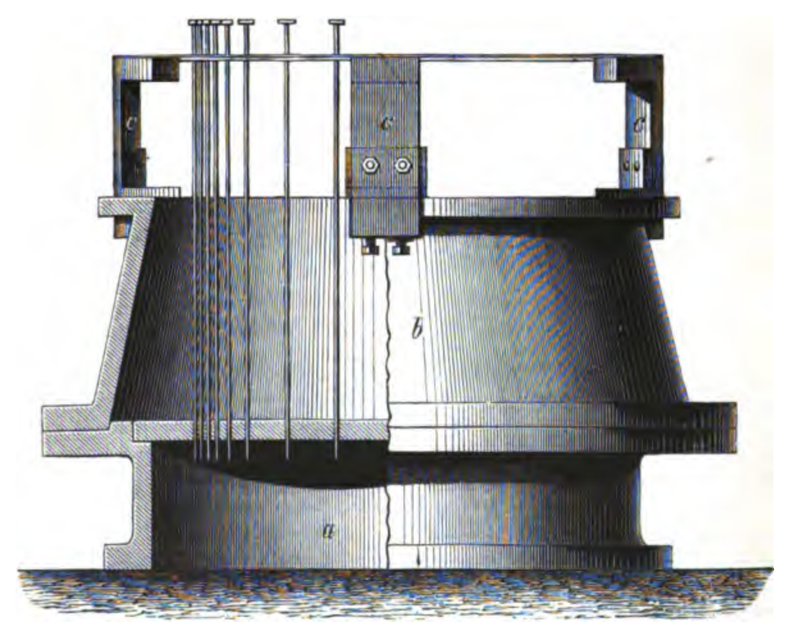


Abb. 385.

Heute entfernt man, wie beschrieben, nur die Bodenplatte aus dem Converter, während der Windkasten fest daran bleibt, und stampft auf diese Bodenplatte innerhalb der zweiteiligen Schablone den Boden auf. Die schwach konischen Stahlnadeln werden in die Windlöcher der Bodenplatte eingekeilt und stehen frei. Nach Beendigung des Stampfens werden sie aus dem hochgehobenen Boden nach unten herausgeschlagen, und an ihre Stelle werden Holznadeln eingesteckt, welche das Schließen der feinen Kanäle beim Brennen der Böden verhüten. Die Holznadeln verkohlen beim Brennen und können leicht aus dem fertig gebrannten Boden entfernt werden.

Zur Ersparung der Handarbeit beim Einstampfen der Böden ist durch Versen eine von einer Vorgelegewelle aus angetriebene,

sinnreich erdachte Stampfmaschine eingeführt, welche auf zahlreichen Werken Anwendung gefunden hat[1]).

Die aus saurem Stoffe gestampften Futter und Böden werden zunächst in gelinder Temperatur getrocknet und dann allmählich erhitzt; die basischen werden sogleich gebrannt.

Das Futter des Birnenoberteiles kann mehrere Hundert Einsätze aushalten, ehe es der Erneuerung bedarf[2]); wird es von Zeit zu Zeit gut ausgebessert, so kann man noch mehr Einsätze darin verarbeiten. Weniger haltbar ist der Boden. Es kommt vor, daß schon nach ein oder zwei Einsätzen eine Auswechselung notwendig wird; als durchschnittliche Dauer der Böden kann man 30 Einsätze rechnen; bisweilen werden 50 Einsätze verarbeitet, ehe die Auswechselung erforderlich wird. Ob der Boden aus saurem oder basischem Stoffe gefertigt wurde, macht dabei keinen Unterschied; wichtiger ist die Art und Weise der Zubereitung des Stoffes und der Herstellung des Bodens. Auch die Beschaffenheit des Roheisens und die in der Birne herrschende Temperatur sprechen hierbei mit. Durch manganreiches Roheisen werden z. B. saure Böden stark angegriffen, für einen basischen Boden würde ein siliciumreiches Roheisen gefährlich sein. Daß in sehr hoher Temperatur die Böden rascher zerstört werden als in wenig hoher, bedarf kaum besonderer Erwähnung.

Die Zahl der Birnen und ihre Anordnung im Gebäude.

Für einen einigermaßen umfänglichen Betrieb sind mindestens zwei Birnen erforderlich, damit nicht das häufig vorkommende Auswechseln der Böden Betriebsstockungen veranlassen könne. Sind die Einrichtungen für die Ausführung dieser Auswechselungen vollkommen genug, so ist man imstande, mit Hilfe zweier Birnen sehr ansehnliche Tageserzeugungen zu erlangen. Nicht selten, zumal beim basischen Verfahren, zieht man es jedoch vor, drei oder noch mehr Birnen anzulegen, um durchaus nicht in der Ausdehnung des Betriebes behindert zu sein.

In jedem Falle aber müssen in dem Gebäude, welches zur Aufnahme der Birnen bestimmt ist, verschiedene Höhenlagen für die Aufstellung der einzelnen Vorrichtungen angebracht werden, damit die Birnen gefüllt, aufgerichtet und nach dem Blasen in die tiefer stehende Gießpfanne entleert werden können, aus welcher alsdann die noch tiefer stehenden Gußformen gefüllt werden.

Die Gußformen stellt man gewöhnlich in einer etwa 1 bis 1,5 m tiefen Gießgrube auf. Das Gießen wird dadurch bequemer, und die Arbeiter werden besser vor dem umherspritzenden Metall geschützt. In einer Höhe von 4 bis 7 m über der Ebene, auf welcher die Gußformen aufgestellt sind, liegen die Birnenzapfen.

Um das aus dem Stichloche des Schmelzofens kommende Metall in den Hals der auf den Rücken gelegten Birne einlassen

[1]) Näheres: „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 1089; Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1902, Seite 1543; 1903, Seite 421 (mit Abbildung).
[2]) Aus saurem Stoffe 500 bis 1000 Einsätze, aus basischem 150 bis 200.

zu können, stellte man früher, solange die Arbeit aus dem Hochofen nur vereinzelt betrieben wurde, die zum Umschmelzen des Roheisens bestimmten Kupolöfen auf eine erhöhte Bühne vor den Birnen und verband das Stichloch durch eine mit feuerfester Masse ausgekleidete Rinne mit dem Birnenhalse, wie in Abb. 386 dargestellt ist. Die Rinne hängt in einer Kette, so daß sie leicht von einer Birne zur andern sich befördern läßt. Noch heute findet man bei Anlagen, welche umgeschmolzenes Roheisen verarbeiten, häufig diese Anordnung, für welche die Abb. 387, den Aufriß einer in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts gebauten Thomashütte darstellend, als Beispiel dienen kann. Das fertige, aus den Birnen kommende Flußeisen wird hier durch einen Gießwagen, wie auf Seite 251 III abgebildet, nach den Gußformen befördert, welche in geradliniger Reihe in einer, in der Abbildung

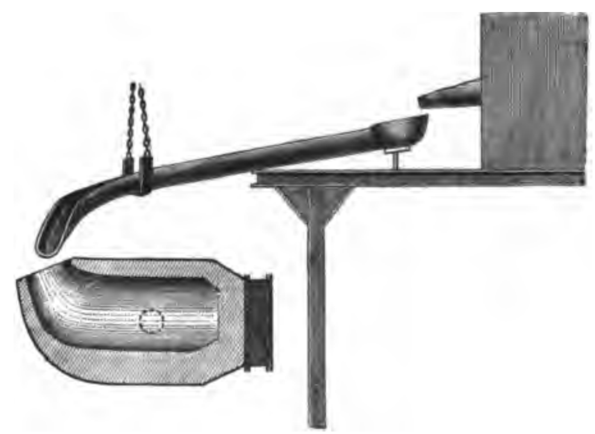


Abb. 386.

nicht sichtbaren Gießgrube seitlich von den Birnen aufgestellt sind. Rechts von der Birne sieht man die durch Gewölbe getragene Bühne für die Aufstellung der Kupolöfen und über dieser die aus Eisenträgern gebildete Kupolöfen-Gichtbühne. Zur Hinaufbeförderung der Schmelzstoffe dient der rechts von den Kupolöfen sichtbare Aufzug. Der überwölbte Raum unterhalb der Kupolöfen wird zur Aufbewahrung von Schmelzstoffen, als Zugang beim Auswechseln der Birnenböden und zum Abfahren der Schlackenwagen benutzt. Über jeder Birne ist ein Rauchfang angebracht (in der Abbildung mit *a* bezeichnet), in welchen die beim Blasen sich entwickelnde heiße Flamme eintritt. Man setzt ihn mit feuerfesten Ziegeln aus oder gibt ihm hohle Wände und kühlt ihn mit Wasser. Die Gichtbühne der Kupolöfen dient zugleich zum Einwerfen des beim basischen Verfahren erforderlichen Kalkzuschlages. Einzelne Lutten (Fülltrichter) *b* führen zu diesem Zwecke von der Bühne nach den Hälsen der Birnen. Damit der erwähnte Rauchfang nicht den Lutten im Wege sei, befindet sich die obere Mündung der letzteren nicht in senkrechter Ebene über den Birnen, sondern

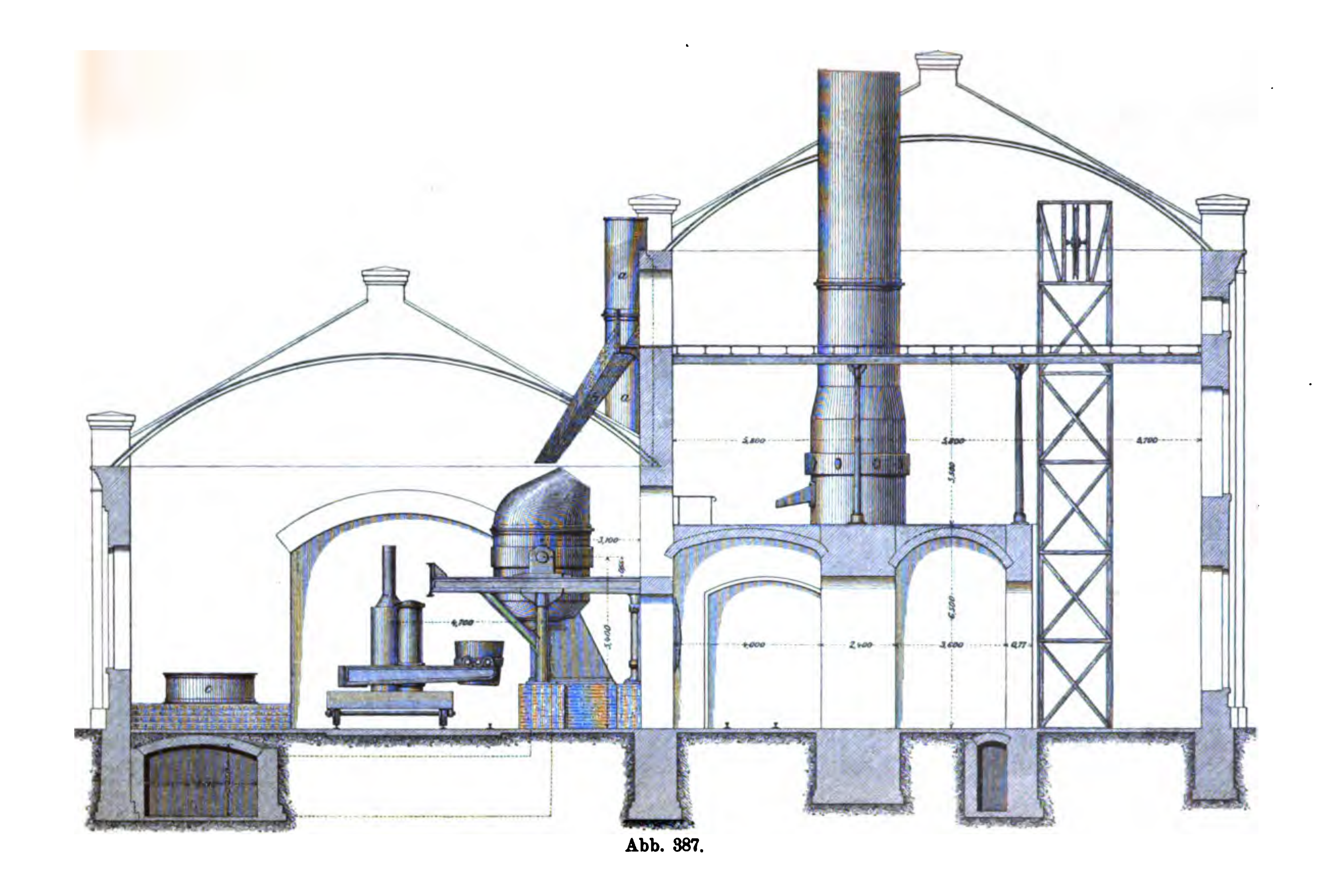
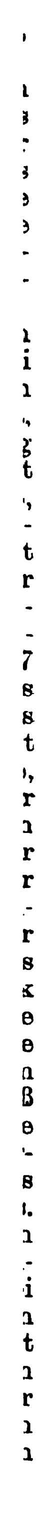

a
a
c
5,800
5,800
3,700
3,500
3,100
4,700
3,400
6,500
4,000
2,400
3,600
0,77

Abb. 387.



Verlag von Arthur Fel

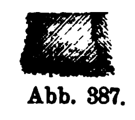
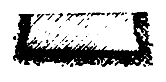
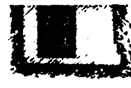






Abb. 387.

seitlich davon neben dem Rauchfange, und die Lutten führen in schräger Richtung abwärts. An der linken Seite des Gebäudes gewahrt man eine Erhöhung *c*, die Kanzel genannt, auf welcher die Vorrichtungen zur Zuleitung und Abstellung des Druckwassers für die Bewegung der Birnen und Blockkrane sich befinden. Die Kanzel muß eine solche Stelle haben, daß man von hier aus alle durch Druckwasser bewegten Vorrichtungen im Auge hat. Unterhalb der Kanzel ist der Kanal sichtbar, in welchem die Leitungsröhren für das Druckwasser liegen.

Seit Einführung der Roheisenmischer (Seite 334 II) ist jedoch die Arbeit aus Kupolöfen seltener geworden. Indem man das bei verschiedenen Abstichen aus dem Hochofen erfolgende Roheisen mischt und davon wiederkehrend stets nur einen Teil entnimmt, verringert man die Abweichungen der chemischen Zusammensetzung des bei den einzelnen Abstichen erfolgenden Roheisens und erspart die Kosten des Umschmelzens. Wo also die Hochofenanlage, welche das Roheisen liefert, nicht allzu weit von der Bessemer- oder Thomashütte entfernt ist, zieht man jetzt meistens die Arbeit aus dem Hochofen mit Einschaltung eines Roheisenmischers der Arbeit aus Kupolöfen vor. Es würde jedoch in diesem Falle umständlich sein, das in einer Pfanne vom Mischer kommende Roheisen zunächst auf die Bühne zu heben, welche bei der in Abb. 387 dargestellten Anlage zur Aufstellung der Kupolöfen dient, um es von hier aus durch eine lange Rinne, in welcher stets Reste des Metalls zurückbleiben, den Birnen zuzuführen. Man verwendet deshalb zur Zuführung des Roheisens eine zum Kippen eingerichtete, auf einem Wagen befindliche Pfanne, welche an der Rückseite der Birne auf einer Hochbahn herzugefahren und unmittelbar in den Hals der auf den Rücken gelegten Birnen entleert wird. Der Pfannenwagen wird durch eine Lokomotive, einen Kettenzug oder eine sonstige Vorrichtung bis zur Birne befördert. Auf die Hochbahn gelangt der Pfannenwagen entweder unmittelbar vom Mischer aus auf dem Schienengleise, falls die Beschaffenheit des Geländes dieses ermöglicht, oder er wird auf einer durch Wasserdruck bewegten Plattform emporgehoben. In Abb. 388 ist eine Anlage dieser Art dargestellt. Rechts von der Birne erblickt man die Hochbahn mit dem Gießwagen. Sie wird von eisernen Säulen getragen, deren Abstand voneinander so bemessen sein muß, daß sie der Bewegung des Gießkrans nicht hinderlich sind. Da die Anlage für den basischen Betrieb bestimmt ist, befindet sich oberhalb der Birne wiederum je eine Lutte zur Zuführung des Kalks von einer für diesen Zweck besonders eingerichteten Bühne aus. Durch Punkte ist die Stellung der Birnen sowohl beim Einwerfen des Kalks als beim Eingießen des Roheisens aus der Pfanne angedeutet. Zum Einlassen des Roheisens in die Birne dient bei der abgebildeten Anlage eine kurze, von einer Birne zur anderen fahrbare Rinne; häufiger entleert man die zu diesem Zwecke mit langer Ausgußschnauze versehene Pfanne durch seitliches Kippen ohne weiteres in die Birne. Zur Bewegung der Gießpfanne für das aus der Birne kommende Flußeisen dient hier ein Drehkran (Seite 248 III); die seitlich (rechts) daneben stehenden kleineren

Krane sind Blockkrane für die Beförderung der Gußformen und gegossenen Blöcke [1]).

Da bei der zuletzt beschriebenen Anordnung der Aufriß des Birnenhauses einfacher sich gestaltet als bei der Anordnung Abb. 387, hat man neuerdings mehrfach auch Anlagen, welche für die Arbeit aus Kupolöfen bestimmt sind, in derselben Weise eingerichtet. Die Kupolöfen stehen alsdann zu ebener Erde; eine fahrbare Gießpfanne nimmt das geschmolzene Roheisen auf, um hierauf durch einen Wasserdruckaufzug emporbefördert zu werden und von der Hochbahn aus das Roheisen in die Birne auszugießen.

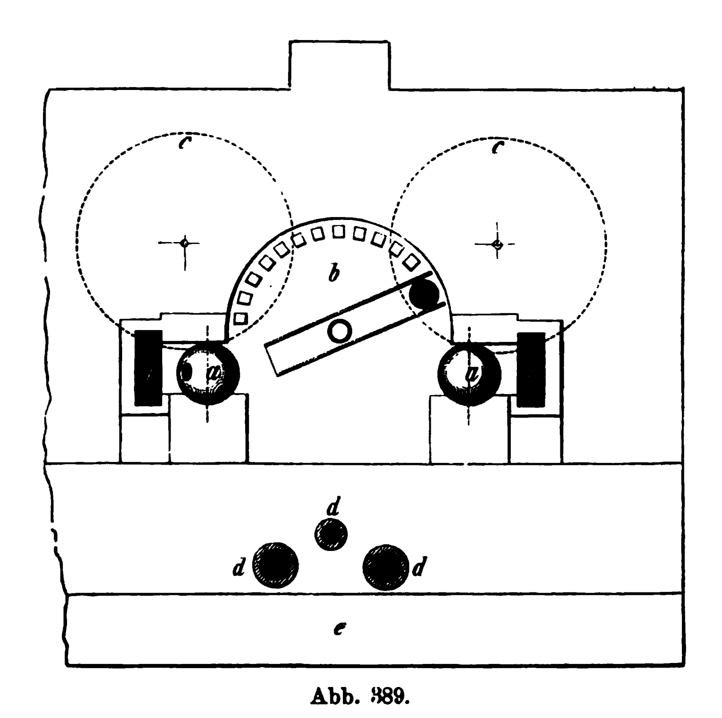


Abb. 389.

Damit nun reichliche Tageserzeugung einer Bessemer- oder Thomashütte möglich werde, ist es notwendig, die Birnen im Grundrisse so gegeneinander anzuordnen, daß für die Aufstellung der erforderlichen Anzahl Gußformen ein ausreichender Raum frei bleibt. Je größer die Zahl der im Laufe des Tages zu verarbeitenden Einsätze ist, desto mehr Grundfläche ist für jenen Zweck erforderlich. In Rücksicht hierauf haben sich im Laufe der Zeit verschiedene Formen der Anordnung der Birnen gegeneinander herausgebildet.

---

[1]) Abbildungen ähnlicher Anlagen: „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 939 mit Tafel XV; 1890, Seite 1041 mit Tafel XVI und XVII; 1891, Seite 730 mit Tafel XVIII; 1893, Seite 103.

Bei der ältesten Anordnung, welche von England aus verbreitet wurde, stehen, wie die Abb. 389 darstellt, zwei Birnen *a a* einander gegenüber, und die Gießgrube *b* hat halbkreisfömigen Grundriß. Wie bei allen älteren Anlagen dient ein Drehkran zur Verteilung des Metalls in die Gußformen. An dem Rande der Gießgrube stehen außerdem zwei, seltener drei Wasserdruckkrane, welche das Einsetzen und Ausheben der Gußformen, Fortschaffen der Blöcke usw. zu besorgen haben. Die Kreise *cc* bezeichnen die Stellung dieser Krane[1]); innerhalb der Gießgrube sieht man die aufgestellten Gußformen durch kleine Quadrate angedeutet. *ddd* sind Kupolöfen, deren kleinster (in der Mitte) für das Schmelzen

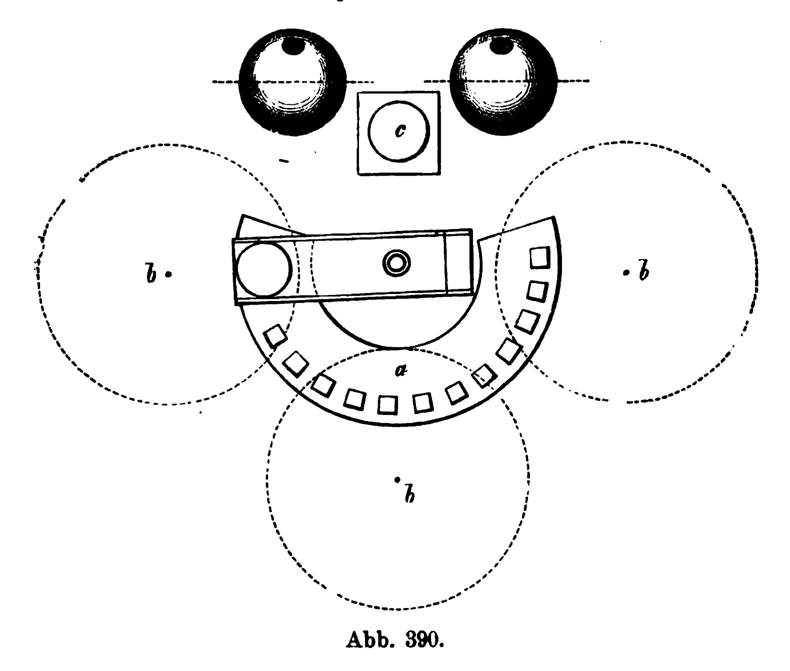


Abb. 390.

des Spiegeleisens bestimmt ist. Hinter ihnen ist die Gichtbühne *e* angeordnet. *ff* sind die Rauchfänge zur Ableitung der entweichenden Gase. Die Gießgrube dieser Anlagen pflegt einen Durchmesser von 6 bis 9 m zu besitzen. Mit dem Durchmesser der Grube wächst zwar die Zahl der Gußformen, welche sich mit einem Male aufstellen lassen, zugleich aber der erforderliche Durchmesser des Krans und mit diesem sein Gewicht, also die erforderliche Arbeit zu seiner Bewegung und insbesondere die Schwierigkeit, die Übelstände der einseitigen Belastung zu vermeiden. Man findet Anlagen dieser Art noch ab und an auf älteren Werken, welchen an einer Ausdehnung ihrer Leistungsfähigkeit nichts gelegen ist.

[1]) Die Stellung ist nicht ganz richtig gezeichnet; in Wirklichkeit stehen die beiden Krane so nahe gegeneinander, daß ihre Kreise sich berühren und sämtliche Gußformen von ihnen erreicht werden können.

Ohne Vergrößerung des Kreisdurchmessers, innerhalb dessen die Gußformen aufgestellt sind, läßt sich ein größerer Raum für die Gußformen schaffen, wenn man, wie Abb. 390 darstellt, die Birnen nicht einander gegenüber, sondern nebeneinander aufstellt, so daß der Kran nunmehr etwa vier Fünftel des ganzen Kreises bestreichen kann (amerikanische Anordnung). Drei Blockkrane *bbb* pflegen in diesem Falle rings um den Gießraum aufgestellt zu sein [1]).

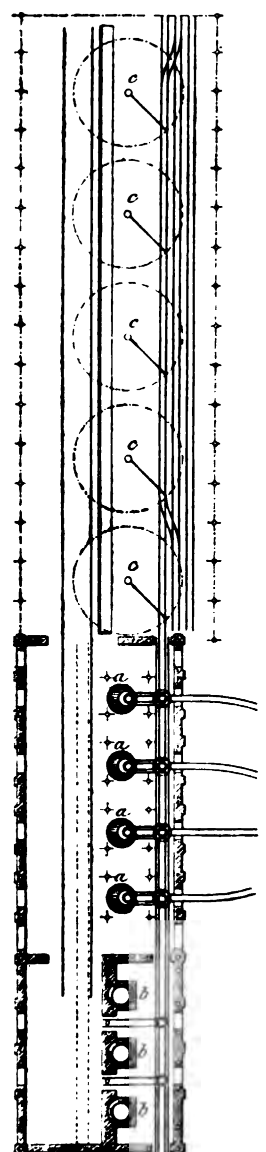


Abb. 391.

Mitunter hat man die gleiche Anordnung auch bei Aufstellung dreier Birnen benutzt, mit dem Unterschiede, daß deren Achsen alsdann nicht in einer geraden Linie sich befinden, sondern rechte Winkel gegen die nach den Birnen gerichteten Halbmesser des Gießkreises beschreiben.

In der Abbildung bezeichnet fernerhin *c* einen Aufzug zum Emporheben der mit flüssigem Roheisen gefüllten Gießpfanne. Er kann seitlich angebracht sein, wenn eine Hochbahn zur Zuführung der Pfanne vorhanden ist (wie in Abb. 388), und er fällt ganz weg, wenn entweder die Kupolöfen auf erhöhter Bühne aufgestellt sind (Abb. 387) oder wenn die Hochbahn sich unmittelbar an den Roheisenmischer anschließt.

Wo man jedoch drei oder mehr Birnen aufstellen will, hat sich eine Anordnung gut bewährt, welche bei Einführung des Thomasverfahrens zuerst auf deutschen Werken zur Anwendung gebracht wurde und auch für die Einrichtung der in Abb. 387 im Aufrisse gezeichneten Thomashütte maßgebend gewesen ist. Die Birnen werden in einer Reihe nebeneinander aufgestellt; statt des Drehkrans dient ein vor den Birnen auf Schienen laufender Rollkran zur Bewegung der Pfanne. Die Gußformen erhalten ihre Aufstellung in einer oder zwei Reihen seitlich von den Birnen. Man ist hierdurch weniger beschränkt in der Zahl der aufzustellenden Gußformen als bei ihrer Aufstellung im Kreise; auch die Zahl der Birnen kann beliebig gewählt werden, ohne daß eine Änderung der Anordnung erforderlich wird. Eine solche Anlage ist in Abb. 391 dargestellt [2]). *aa* sind die Birnen, *bbb* die seitlich davon stehenden Kupolöfen. Das aus diesen kommende

[1]) Auch hier ist die Stellung der Blockkrane nicht ganz richtig gezeichnet, da ihre Kreise sich nicht berühren.
[2]) Nach „Stahl und Eisen" 1897, Seite 389.

Roheisen wird auf die an den Birnen vorbeigehende Hochbahn befördert, um von hier in die Birne ausgegossen zu werden; die zum Tragen der Hochbahn dienenden Pfeiler lassen zwischen sich den nötigen Raum für das zu ebener Erde befindliche Schienengleis, auf welchem der Rollkran für die Gießpfanne des Flußeisens läuft. *cc* sind die Blockkrane, neben der langgestreckten Gießgrube. Der Raum, in welchem die Gießgrube sich befindet, ist in der Regel nur durch ein von Säulen getragenes Wellblechdach abgedeckt und ringsum frei. Ein Schienengleis dient zum Zufahren der Gußformen und Abfahren der Blöcke; die unter den Birnen endigenden Gleise dienen zur Herbeischaffung der Birnenböden und zur Entfernung der in eine Pfanne abgegossenen Schlacke.

Dieselbe Anordnung der Birnen wie in Abb. 391 wird auch gewählt, wenn man, wie es bei den neuesten Anlagen üblich geworden ist, nicht die Gießpfanne, sondern die Gußformen auf Wagen stellt, um sie in der Nähe der Birnen füllen und an beliebig entfernter Stelle entleeren zu können[1]).

e) Die Gebläse.

Die Luftmenge, welche zur Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen erforderlich ist, richtet sich zwar nach der chemischen Zusammensetzung des Eisens vor und nach dem Blasen, läßt sich aber durchschnittlich zu 300 cbm für je 1 t zu verarbeitenden Roheisens veranschlagen. Bei einer Nutzwirkung des Gebläses von 0,7 würde also das Gebläse für eine anzusaugende Luftmenge von etwa 450 cbm für je 1 t Roheisen zu berechnen sein. Für einen gegebenen Inhalt der Birne und eine ins Auge gefaßte Zeitdauer des Frischens ergibt sich hieraus die in einer Minute zu beschaffende Windmenge.

In den meisten Fällen schwankt die eingeblasene Luftmenge zwischen 250 bis 400 cbm, die theoretisch angesaugte zwischen 400 bis 600 cbm in einer Minute für je eine unter Wind stehende Birne.

Diese Luft muß, damit sie imstande sei, den Druck des flüssigen Metalls, sowie die Widerstände in den engen Durchgangsöffnungen des Birnenbodens zu überwinden, bei den Birnen des Großbetriebes auf eine Spannung von 1,4 bis 2,5 Atmosphären (1,4 bis 2,5 kg Druck auf 1 qcm) verdichtet werden.

Kein anderes metallurgisches Verfahren verlangt eine so hohe Windspannung, und nur ein Zylindergebläse ist imstande, sie zu liefern. Eben dieser hohe Druck macht besondere Maßregeln bei der Anlage der Zylindergebläse für das Bessemer- und Thomasverfahren notwendig.

Durch die Verdichtung wird eine Erwärmung der Luft hervorgerufen. Ihrem nachteiligen Einflusse auf die Dichtungen und Liderungen sowie auf den Arbeitsverbrauch wirkt man entgegen, indem man den Gebläsezylinder mit einem Mantel umgibt und durch den Zwischenraum Wasser zur Abkühlung des Gebläse-

---

[1]) Beispiele dieser Anordnung: „Stahl und Eisen" 1900, Seite 357; 1901, Seite 1102, 1168; 1907, Seite 523 und 933; the Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 299.

zylinders hindurchfließen läßt; auch die Deckel werden bisweilen gekühlt. Dennoch vermag dieses Mittel nur in beschränktem Maße Schutz zu gewähren. Kautschukventile oder -platten, welche für die Ein- und Auslaßvorrichtungen der Hochofengebläse früher bisweilen benutzt worden sind, erwiesen sich bei Bessemergebläsen als nicht haltbar. Auch Filz als Dichtungsmittel für Klappen, oder Leder für Klappen und Ventile hat sich nicht bewährt. Am häufigsten wendet man metallene Ventile ohne besondere Dichtungsmittel an; auch Schiebersteuerungen oder Hahnsteuerungen, welche, wie die Steuerungen des Dampfzylinders, von der Schwungradwelle aus bewegt werden, hat man für die Einlaßöffnungen in Anwendung gebracht.

Man benutzt fast stets liegende zweizylindrige Gebläse, dem in Abb. 170 und 171 (Seite 102 II) dargestellten liegenden Hochofengebläse ähnlich. Die Vorteile der liegenden Gebläse sind hier die nämlichen wie beim Hochofenbetriebe (Seite 103 II), der Nachteil der nicht ganz gleichmäßigen Abnutzung der Kolben und Zylinder ist hier noch weniger von Belang, da die Gebläse für das Windfrischen nicht ununterbrochen, sondern nur zeitweilig im Betriebe sind. Einzylindrige Gebläse mit Regulator würden unzweckmäßig sein, da die Wirkungsweise des Regulators es mit sich bringt, daß die volle Windspannung in der Leitung erst erreicht wird, nachdem das Gebläse bereits einige Zeit im Betriebe war, und ebenso, daß noch ein länger fortdauerndes Ausblasen stattfindet, nachdem das Gebläse bereits zum Stillstand gebracht wurde. Während dieser Umstand bei ununterbrochenem Betriebe ohne Belang ist, würde er bei den häufigen Pausen des Windfrischens lästig werden und Windverluste veranlassen.

Man gibt neueren Gebläsen 2 bis 4 m Kolbengeschwindigkeit in der Sekunde [1]).

Für den Betrieb einer Kleinbessemerei genügt in der Regel ein gut eingerichtetes Kapselgebläse [2]).

f) Das Arbeitsverfahren und der äußere Verlauf des Windfrischens.

Wahl des Roheisens.

Man arbeitet entweder vom Hochofen, oder man schmelzt das Roheisen in Kupolöfen um. Ersteres Verfahren ist wegen Ersparung der Umschmelzkosten billiger, aber wegen der unvermeid-

---

[1]) Nähere Belehrung über die Gebläse der Bessemer- und Thomashütten findet der Leser in den Werken: J. Schlink, Über Gebläsemaschinen, Berlin 1880, und Albrecht von Ihering, Die Gebläse, 2. Aufl., Berlin 1903. Auch die Abhandlungen R. M. Daelens über Bessemergebläse in den Verhandl. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbefl. 1883, Seite 174, „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 433 und 575, ferner Riedlers, Das Bessemergebläse zu Heft, Zeitschr. d. V. deutsch. Ingenieure 1884, Seite 2, Majerts, Convertergebläse für das Hasper Eisen- und Stahlwerk, „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 571, mögen hier genannt werden. Manche der auf Seite 145 II genannten Abhandlungen über Hochofengebläse enthalten ebenfalls Mitteilungen über Bessemer- und Thomasgebläse.

[2]) Vergl. Seite 311 II.

lichen, beim Hochofenbetriebe eintretenden Schwankungen in der Zusammensetzung des Roheisens ist es, wie schon erwähnt, erst allgemeiner üblich geworden, seit man Mischer einführte (Seite 334 II), um die Abweichungen der chemischen Zusammensetzung auszugleichen. Je umfänglicher der Betrieb ist, desto besser anwendbar ist dieses Verfahren.

Auch beim Betriebe aus dem Hochofen pflegt man jedoch Kupolöfen in Bereitschaft zu haben, um bei Betriebsstockungen des Hochofens nicht auch den Betrieb der Bessemer- oder Thomashütte einstellen zu müssen. Da jeder Kupolofen nach einigen Tagen der Ausbesserung bedarf, stellt man mindestens zwei, häufiger drei bis fünf Kupolöfen auf. Ihrer Anordnung gegen die Birnen wurde schon oben gedacht; ebenso der Einrichtungen für den Fall, daß man unmittelbar vom Hochofen aus das Roheisen der Birne zuführen will.

Für das saure Verfahren benutzt man ein Roheisen, dessen Siliciumgehalt mindestens 0,6 v. H., der Regel nach jedoch 1 bis 2 v. H., selten darüber, beträgt[1]; der Phosphorgehalt, welcher beim Frischen keine Verringerung, sondern in Rücksicht auf die stattfindende Abnahme des Eisengewichts eher eine geringe Erhöhung erfährt, muß um so niedriger sein, je kohlenstoffreicher das Enderzeugnis werden soll, und darf höchstens 0,10 v. H. betragen. Der Mangangehalt schwankt gewöhnlich zwischen 0,5 bis 2,0 v. H., steigt bisweilen, obschon selten, auf 4 v. H. und beträgt in anderen Fällen nicht mehr als 0,1 v. H. Einen mäßigen Mangangehalt (etwa 1,00 v. H. oder wenig darüber) sieht man gewöhnlich nicht ungern. Er schützt das Eisen selbst vor starker Verbrennung, wirkt hierdurch der Bildung von Eisenoxydul im Metallbade und den Folgen dieses Vorganges (Gasentwickelung, Rotbruch) entgegen, befördert die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke, wodurch die Entstehung lästiger Ansätze im Innern der Birne eher vermieden wird, und erleichtert die Erzielung der erforderlichen Temperatur auch bei nur beschränktem Siliciumgehalte; ein hoher Mangangehalt dagegen trägt zur raschen Zerstörung des Birnenfutters bei und erhöht, indem er in die Schlacke geht, den Abbrand. Der Schwefelgehalt des für das saure Verfahren benutzten Roheisens ist selten hoch (0,01 bis 0,05 v. H.), da die Entstehungsbedingungen dieses Roheisens (hohe Temperatur und meistens basische Schlacke) der Aufnahme von Schwefel hinderlich sind; der Kohlenstoffgehalt pflegt 3,5 bis 4 v. H. zu betragen, spielt aber für den Verlauf des Frischens nur insofern eine Rolle, als der höhere Kohlenstoffgehalt einen etwas reichlicheren Windverbrauch (längeres Blasen) erforderlich macht.

Das Roheisen für das basische Verfahren enthält gewöhnlich 0,2 bis 0,5 v. H. Silicium, 1,8 bis 2,5 v. H. Phosphor, 1 bis 2 v. H. Mangan. Der Grund, weshalb hier ein hoher Phosphorgehalt notwendig ist, wurde auf Seite 287 III besprochen. Ist man gezwungen, Roheisen mit weniger als 1,8 v. H. Phosphor zu

---

[1]) Auf amerikanischen Werken betrachtet man ein Roheisen mit 1,25 v. H. Silicium als das geeignetste (Iron Age 1902, Nr. 21, Seite 24).

verarbeiten, so muß der Siliciumgehalt entsprechend höher sein und die entstehende Schlacke wird ärmer an Phosphorsäure. Diese Schlacke aber bildet ein wertvolles Nebenerzeugnis, dessen Wert mit ihrem Phosphorsäuregehalte zu- und abnimmt. Daher ist die Verarbeitung eines phosphorreichen Roheisens mit niedrigem Siliciumgehalte vorteilhafter als der umgekehrte Fall. Ein Mangangehalt von dem angegebenen Betrage gewährt ähnliche Vorteile wie beim sauren Verfahren und erleichtert im Anfange des Blasens die Aufrechterhaltung der erforderlichen Temperatur. Da der Siliciumgehalt niedrig ist, der Phosphorgehalt aber zum größten Teile erst nach dem Kohlenstoff verbrennt, ist dieser Einfluß des Mangangehalts nicht ohne Belang. Der Schwefelgehalt des vom Hochofen kommenden Thomasroheisens ist durchschnittlich etwas höher und unterliegt stärkeren Schwankungen als der des Bessemerroheisens, da die Verhältnisse für seine Abscheidung im Hochofen bei der Erzeugung des Thomasroheisens weniger günstig sind; durch Einschaltung eines Roheisenmischers bei der Arbeit vom Hochofen oder durch Bildung kalkreicher Schlacken beim Schmelzen im Kupolofen ist man jedoch befähigt, Ausgleich zu schaffen. Der Kohlenstoffgehalt dieses Roheisens beträgt 3,0 bis 3,5 v. H.

Schmelzt man das Roheisen um, bevor es der Birne überwiesen wird, so tritt ein Teil des Silicium- und Mangangehalts hierbei aus (Seite 307, 322 II). Hierauf ist bei Auswahl des Roheisens Rücksicht zu nehmen, damit das in die Birne gelangende Eisen die erforderliche Zusammensetzung besitze. Je niedriger beim Kupolofenschmelzen der Brennstoffverbrauch ist, desto höher ist im allgemeinen der Verlust an den beiden Körpern; man ist daher imstande, durch etwas reichlicher bemessenen Brennstoffaufwand einem etwa nachteiligen Verluste entgegenzuwirken.

Verlauf des Frischens.

Bevor das Roheisen abgestochen wird, erhitzt man die Birne durch ein darin unterhaltenes Koksfeuer zum Rotglühen. Die Verbrennung der Koks erfolgt durch einen schwachen, vom Gebläse zugeführten Windstrom. Die Entfernung zurückgebliebener Koks und Asche wird bewirkt, indem man die Birne vollständig kippt, worauf beim sauren Verfahren das Einlassen des Roheisens folgt. Beim basischen Verfahren dagegen muß zunächst der erforderliche Zuschlagskalk eingebracht werden. Nur gebrannter Kalk ist anwendbar, weil der zur Zerlegung rohen Kalksteins erforderliche Wärmeverbrauch das Metall abkühlen würde; die Menge des Kalks beträgt 13 bis 18 v. H. des Roheisengewichts, abweichend nach seiner Reinheit und der Zusammensetzung des Roheisens[1]). Das

[1]) Ein zu reichlicher Kalkzuschlag würde nicht allein den Wärmeverbrauch in der Birne erhöhen und dadurch abkühlend wirken, sondern auch durch Vermehrung der Schlackenmenge den Phosphorsäuregehalt der Schlacke erniedrigen und ihren Wert verringern; ein zu geringer Kalkzuschlag würde die Entphosphorung unmöglich machen. Nach Versuchen von Hilgenstock ist ein Kalkzuschlag von solcher Höhe notwendig, daß ein Kalkphosphat von der Formel 4 CaO, P_2O_5, bestehend aus 61,20 Gewichtsteilen Kalkerde und 38,80

Einbringen geschieht meistens von einer höher gelegenen Bühne aus durch eine Lutte in die aufrechtstehende Birne (Abb. 387 und 388).

Über die Einrichtungen zum Einlassen des Roheisens ist auf Seite 303 das Erforderliche mitgeteilt. Sobald das Einlassen beendet ist, wird die Rinne oder Gießpfanne entfernt, das Gebläse wird angelassen und die Birne aufgekippt. Das Frischen beginnt.

War das verwendete Roheisen reich an Silicium (beim sauren Verfahren) und die Anfangstemperatur nicht sehr hoch (also das Metall nicht stark überhitzt, die Birne nur mäßig vorgewärmt), so besitzen die aus dem Birnenhalse strömenden Gase anfänglich wenig Leuchtkraft und sind nur durch den Widerschein des darunter befindlichen flüssigen Metalls rötlichgelb gefärbt. Kohlenstoff verbrennt noch nicht oder nur in unbedeutender Menge; die Verbrennung erstreckt sich vorwiegend auf Silicium und Mangan. Der Gasstrom besteht fast nur aus Stickstoff mit kleineren Mengen unverzehrten Sauerstoffs. Zahlreiche Funken werden herausgeworfen. Im Innern der Birne hört man ein gurgelndes Geräusch, hervorgerufen durch den das Eisenbad durchdringenden Wind, dessen Sauerstoffgehalt zur Verbrennung jener Körper verbraucht wird.

Bald aber ändert sich das Bild. Der Kohlenstoff beginnt zu verbrennen. Die Flamme nimmt die Form eines langen spitzen Kegels an, färbt sich bläulichweiß, beginnt stark zu leuchten, die Zahl der Funken und deren Größe nimmt ab.

War das Metall schon beim Beginne des Blasens sehr heiß und der Siliciumgehalt nicht sehr hoch, so nimmt man die Zeichen der beginnenden Kohlenstoffverbrennung bereits von Anfang an wahr. So z. B. zeigt sich beim basischen Verfahren sofort die leuchtende Flamme, hier gewöhnlich durch mitgenommene Kalkteilchen stark gelb gefärbt, auch wohl rötlich, wenn der Kalk strontiumhaltig ist, oder grünlich bei anwesendem Bariumgehalt [1]).

Immer heftiger wird jetzt die Gasentwickelung. Die Flamme ist blendend weiß geworden und erreicht eine Länge bis zu 6 m; das gurgelnde Geräusch, welches den Beginn des Frischens begleitete, verwandelt sich in ein donnerndes Getöse, hervorgerufen durch die massenhafte Entwicklung von Kohlenoxydgas im engen Raume; Schlacken und Eisenkörner werden durch die heftig entweichenden Gase aus dem Birnenhalse herausgeschleudert, sofern der Rauminhalt der Birne nicht sehr reichlich bemessen ist. Der

Gewichtsteilen Phosphorsäure (mit 16,93 Gewichtsteilen Phosphor), entstehen kann, während die entstehende Kieselsäure nur je ein Molekül Kalkerde (CaO, SiO_2) erheischt, um für die Phosphorabscheidung unschädlich zu werden („Stahl und Eisen“ 1886, Seite 525; 1887, Seite 557). Für Roheisen mit 3 v. H. Phosphor müßten demnach ungefähr 11 v. H. reine Kalkerde zugeschlagen werden, sofern das Roheisen frei von Silicium ist, oder sofern eine genügende Menge anderer Basen (Manganoxydul, Eisenoxydul) zur Bindung der Kieselsäure verschlackt wird. Ein etwas höherer Kalkverbrauch ist jedoch stets notwendig, da der Kalk nicht frei von Kieselsäure ist und da jeder chemische Vorgang, welcher rasch und vollständig verlaufen soll (in diesem Falle die Phosphorabscheidung) einen gewissen Überschuß des Reaktionsmittels erheischt.

[1]) Schon sehr geringe Mengen Strontium oder Barium im Zuschlagkalk genügen, die den Chemikern bekannte Flammenfärbung hervorzurufen.

Gang des Gebläses wird verlangsamt, wenn ein allzu heftiges Kochen größere Eisenverluste durch Auswerfen befürchten läßt.

Von dem Zeitpunkte an, wo die Flamme anfing, lebhafter zu werden, sieht man aus ihrer Spitze einen braunen Rauch aufsteigen, dessen Menge zunimmt, je mehr der Kohlenstoffgehalt des Eisens sich verringert. Er besteht aus Oxyden des Mangans und Eisens, welche durch den Gasstrom mitgerissen wurden[1]). Ob die Oxyde bereits innerhalb des flüssigen Metalls durch den eingeblasenen Wind gebildet und fortgeführt wurden, bevor sie verschlackt werden konnten, oder ob sie aus verflüchtigten Metallen durch Verbrennung an der Luft entstanden, ist mit Sicherheit nicht nachweisbar.

Mehr und mehr verringert sich nunmehr der Kohlenstoffgehalt des flüssigen Eisens, schwieriger als zuvor wird er von dem Sauerstoff erreicht, und seine Verbrennung erlahmt. Die Flamme wird schwächer, unruhiger, durchsichtiger, während jener erwähnte braune Rauch sich mehrt und die Spitze der Flamme vollständig einhüllt; das Getöse im Innern der Birne wird wieder schwächer. Die äußeren Erscheinungen werden denen im Anfange des Blasens wieder ähnlich; nur der sich massenhaft entwickelnde braune Rauch und die Abwesenheit der Funken in der Flamme liefern deutliche Unterscheidungsmerkmale. Der weitere Verlauf hängt nunmehr davon ab, ob man auf saurem oder basischem Futter arbeitete und ob man kohlenstoffreiches oder kohlenstoffarmes Eisen erzeugen will.

Stellt man in saurer Birne wirklichen Stahl dar, so pflegt man von vornherein ein an Silicium nicht übermäßig reiches Roheisen (1,0 bis 1,75 v. H. Silicium) zu verwenden und das Blasen zu unterbrechen, ehe der Kohlenstoffgehalt verbrannt ist. Von dem Kohlenstoffgehalte, welchen der fertige Stahl besitzen soll, hängt es in erster Reihe ab, wann das Blasen aufhören muß. Verschiedene Merkmale dienen zur Erkennung des richtigen Zeitpunkts. Schon das Aussehen der Flamme dient dem erfahrenen Betriebsmanne als ein ziemlich sicheres Kennzeichen. Häufig und mit gutem Erfolge bedient man sich auch des Spektroskops, mit welchem man die Flamme betrachtet[2]). Ein Taschenspektroskop reicht für diesen Zweck aus. Seine Anwendung beruht auf dem Umstande, daß bei Verarbeitung gleichen Roheisens auch die Erscheinungen, welche man bei Beobachtung der Bessemerflamme

[1]) Es ist schwer, den Rauch für die Untersuchung zu sammeln, ohne daß er von Fremdkörpern verunreinigt wäre. Brusewitz fand nachstehende Zusammensetzung:

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO
17,92	2,08	15,55	61,61	0,25	0,61

(Iron, Band XIII, Seite 674.) Das Mangan ist jedoch jedenfalls nicht als Oxydul, sondern als Oxyduloxyd (Mn_3O_4) zugegen. Eine auf einem deutschen Thomaswerke angestellte Untersuchung, deren Ergebnisse dem Verfasser freundlichst zur Verfügung gestellt wurden, ergab:

SiO_2	Fe_2O_3	Mn_3O_4	$CaCO_3$	$CaSO_4$	P_2O_5
10,86	72,43	4,66	3,34	3,44	0,82.

[2]) Von Professor Roscoe im Jahre 1863 auf einem Eisenwerke in Sheffield zuerst versucht.

mit dem Spektroskope gewahrt, stets in der gleichen Weise wiederkehren. Hat man also einmal ermittelt, welches Ansehen das Spektrum in dem Augenblicke besitzt, wo die Entkohlung den gewünschten Grad erreicht hat, so ist es nicht schwer, in allen künftigen Fällen diesen Zeitpunkt anzugeben, sobald man wiederum die Vorgänge mit dem Spektroskope verfolgt. Es bedarf demnach zur Benutzung des Spektroskops für diesen Zweck keineswegs einer wissenschaftlichen Vorbildung; auch der Arbeiter, der die Vorrichtungen zum Kippen der Birne und zum Abstellen des Windes handhabt, lernt bald die Benutzung. Beim Beginne des Blasens in der sauren Birne zeigt sich, solange die Flamme noch wenig leuchtet, ein schwaches Spektrum ohne helle Linien. Steigt die Temperatur, so wird das Spektrum deutlicher, breitet sich aus, und nun mit einem Male blitzt eine gelbe Linie (Natriumlinie) auf, deutlich sich abhebend. Anfänglich erscheint und verschwindet sie rasch und mehrmals hintereinander, alsdann wird sie heller und bleibt beständig. Außer der einen starken gelben Linie erscheinen häufig mehrere schwächere daneben. Nach der Natriumlinie tritt gewöhnlich links davon eine Linie in Rot auf, unter Umständen auch mehrere rote Linien, rechts grüne Linien, noch weiter rechts blaue. Letztere entstehen, wie es scheint, nicht regelmäßig, sondern nur bei einzelnen Roheisensorten. In der umgekehrten Reihenfolge des Erscheinens der Linien verschwinden sie wieder, d. h. die zuletzt erschienenen verschwinden zuerst; aber die Zeitdauer des Verschwindens, welches gegen Ende der Kohlenstoffverbrennung eintritt, verläuft rascher als das Erscheinen. Zuletzt bleibt noch die gelbe Natriumlinie. Soll das Frischen bei bestimmtem Kohlenstoffgehalte des Bades unterbrochen werden, so gibt das Verschwinden der einen oder anderen Linien das Merkmal dafür an.

Gewöhnlich nimmt man auch, wenn man den Zeitpunkt für gekommen erachtet, wo die Entkohlung den gewünschten Grad erreicht hat, eine Probe. Man taucht zu diesem Zwecke, nachdem die Birne auf den Rücken gelegt und das Blasen inzwischen eingestellt wurde, eine etwas erwärmte Eisenstange in das geschmolzene Metall und zieht sie alsbald wieder heraus. An der Stange bleibt eine Schlackenkruste sitzen, in der sich Eisenkügelchen von einigen Millimetern Durchmesser befinden. Man taucht die Stange in Wasser und schlägt mit einem Hammer die Schlacke ab. Ihre Farbe gibt den ersten Anhalt, wie weit die Entkohlung vorgeschritten ist. Je mehr der Kohlenstoffgehalt des Eisens abnimmt, desto eisenreicher wird die Schlacke, sie wird schwarz, blasig, während sie bei geringerem Eisengehalte (höherm Kohlenstoffgehalte des Metalls) auf dem Bruche eine olivengrüne bis graugrüne Färbung, durch den Mangangehalt hervorgerufen, besitzt. Sondert man nun durch Zerklopfen der Schlacke die Eisenkügelchen aus und schlägt sie auf einem Ambosse mit dem Hammer flach, so erhält man durch den Widerstand, welchen sie dem Hämmern entgegensetzen, einen Maßstab für ihre Härte und Dehnbarkeit, Eigenschaften, welche vornehmlich von dem noch anwesenden Kohlenstoffgehalte abhängig sind. Kohlenstoffärmeres Eisen läßt sich mit Leichtigkeit

und ohne Kantenrisse zu bekommen platt schlagen, härterer Stahl reißt. Bei einiger Übung ermöglicht dieses Verfahren ein recht zuverlässiges Urteil.

Auch wenn man bei noch ziemlich hohem Kohlenstoffgehalte das Blasen unterbricht, kann doch das Eisen bereits sauerstoffhaltig geworden sein und dadurch Neigung zu Rotbruch und zur Gasentwickelung beim Gießen bekommen haben, insbesondere dann, wenn man einen manganarmen Einsatz verarbeitete. Man setzt demnach in der Regel zur Zerstörung des gebildeten Eisenoxyduls Eisenmangan zu [1]). Je weniger man den noch vorhandenen Kohlenstoffgehalt aufs neue anzureichern beabsichtigt, desto manganreicher wählt man den Zusatz (Seite 289 III), um mit einer kleinen Menge auszukommen; sehr erheblich braucht in keinem Falle die Menge der zugesetzten Legierung zu sein, da der Sauerstoffgehalt des Bades noch nicht bedeutend sein kann. Von reichem Eisenmangan fügt man nicht mehr als 0,3 bis 0,5 v. H. des Roheisengewichts zu, also auf 5 t 15 bis 25 kg; mitunter noch weniger. Das Eisenmangan wird im angewärmten Zustande in den Hals der Birne geworfen, nachdem diese auf den Rücken gelegt worden ist und man sich durch die erwähnten Proben überzeugt hat, daß die Entkohlung das beabsichtigte Maß erreicht hat. Gewöhnlich entsteht beim Einwerfen, zumal wenn das Metall sehr heiß ist, ein Aufwallen, durch entstehendes Kohlenoxyd hervorgerufen, und eine Flamme schlägt aus dem Birnenhalse. Um die Gleichmäßigkeit der Mischung zu befördern, richtet man auf einigen Werken die Birne nochmals auf und bläst wenige Sekunden hindurch; alsdann folgt das Ausgießen in die zuvor erhitzte Pfanne und aus dieser in die bereitgestellten Gußformen.

Will man in der sauren Birne ein kohlenstoffarmes Erzeugnis gewinnen, oder ist zur Entfernung eines hohen Siliciumgehalts ein länger fortgesetztes Frischen erforderlich, so bläst man, bis die Flamme fast oder ganz erloschen ist, und gibt nunmehr erst den Zusatz. Die Erkennung des richtigen Zeitpunktes ist hier leichter als in dem zuerst besprochenen Falle; dennoch nimmt man auch hier eine Probe der Schlacke und des Eisens, um sie der Besichtigung und Prüfung in der beschriebenen Weise zu unterziehen. Da das Bad sauerstoffreicher geworden ist als bei vorzeitiger Unterbrechung, muß auch der Manganzusatz etwas reichlicher bemessen werden; von Eisenmangan gibt man 0,5 bis 2 v. H. des Einsatzgewichts, von Spiegeleisen 2 bis 10 v. H., abweichend nach seinem Mangangehalte und nach dem Kohlenstoffgehalte, welchen das Erzeugnis erhalten soll. Bisweilen gibt man zunächst einen geringeren Zusatz von Eisenmangan zur Zerstörung des Eisenoxydulgehalts und alsdann einen Spiegeleisenzusatz zur Anreicherung des Kohlenstoffgehalts. Eisenmangan wird, wie in dem

[1]) In Schweden arbeitet man bei der Erzeugung von Stahl in der Bessemerbirne häufig ohne den Manganzusatz und begnügt sich, einen manganreichen Einsatz (2 bis 4 v. H. Mangan) zu verwenden. (Vergl. Åkermans unter Literatur genannte Abhandlung). Das gleiche Verfahren war früher auch in Deutschland hier und da unter der Bezeichnung „schwedisches Verfahren" in Anwendung.

zuerst beschriebenen Falle, in nur angewärmtem Zustande in die Birne gebracht, Spiegeleisen erhitzt man bis zum Rotglühen oder schmelzt es, wenn ein größerer Zusatz davon erforderlich ist, in einem kleinen Kupolofen, um es im flüssigen Zustande zuzusetzen. Beim Schmelzen ist jedoch ein Manganverlust nicht zu vermeiden [1]), dessen Betrag bei der Bemessung des Zusatzes zu berücksichtigen ist. Stärker als bei dem Zusatze zu weniger entkohltem Eisen ist das erwähnte Aufwallen, zumal wenn Spiegeleisen als Zusatz benutzt wurde, ohne daß zuvor ein Eisenmanganzusatz gegeben war; bei sehr hoher Temperatur des Metalls und Zusatz flüssigen Spiegeleisens ist es vorgekommen, daß der Birneninhalt, wie bei einer Explosion, herausgeschleudert wurde [2]).

Anders ist der schließliche Verlauf beim Thomasverfahren. Die hier beabsichtigte Entphosphorung ist in der hohen Temperatur erst erreichbar, nachdem der Kohlenstoffgehalt bis auf geringe Mengen ausgetreten ist; alsdann muß ein Nachblasen folgen, welches den Phosphor ausscheidet. Wie lange dieses Nachblasen währen muß, bis der Phosphorgehalt des Eisens auf das beabsichtigte Maß verringert ist, wird durch den Versuch ermittelt; meistens genügen vier bis fünf Minuten nach dem Erlöschen der Flamme. Auf manchen Werken bestimmt man mit Hilfe der Uhr den Zeitpunkt, wann das Blasen aufhören und die Birne gekippt werden soll; auf anderen hat man am Gebläse einen Hubzähler eingerichtet und stellt das Blasen ein, wenn die bestimmte Anzahl Kolbenwechsel vollbracht ist. Mit ziemlicher Sicherheit läßt sich auf diese Weise der Augenblick feststellen, wo die Abscheidung des Phosphors das gewünschte Maß erreicht hat. Immerhin darf die Bestimmung der Nachblasedauer nicht ausschließlich eine rein mechanische sein, da viel von dem Zustand des Converters und besonders des Bodens abhängt. Ein neuer Converter gibt durch Ablösen von Schalen des stark kohlenstoffhaltigen basischen Futters leicht Kohlenstoff an das Metallbad ab, wodurch sowohl die Entkohlungs- wie auch die Entphosphorungsperiode eine Verlängerung erfahren kann. Bei einem schon wiederholt gebrauchten Boden ergibt sich durch das trichterförmige Ausbrennen einzelner Düsen häufig die Notwendigkeit, diese Düsen durch Verstopfen mit basischer Masse vorübergehend zu verschließen, um eine gleichmäßige Abnutzung des ganzen Bodens zu erzielen, und es wird durch die Verminderung der Windstrahlen auch hierbei eine Verlängerung der Blasedauer erforderlich.

Der geübte Blasemeister wird daher alle diese Vorgänge im Auge halten müssen, und darf bei Bemessung der Blasedauer in der Uhr wohl einen gewissen Anhalt finden, aber sich niemals lediglich auf diese verlassen.

---

[1]) Vergl. die Analysen auf Seite 322 II.

[2]) Auf Seite 391 I sind Analysen der entweichenden Gase vor und nach dem Zusatze mitgeteilt worden, welche den Beweis liefern, daß eine Neubildung von Kohlenoxyd die Veranlassung des Aufkochens ist. Je heißer das Metall ist, desto stärker ist das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs, in desto reicherem Maße wird er bei der Einwirkung des Eisenoxyduls auf den gegebenen Zusatz in Mitleidenschaft gezogen.

Man verschafft sich daher, ehe der Zusatz von Eisenmangan stattfindet, durch Anstellung einer Prüfung größere Gewißheit, daß die Entphosphorung genügend sei. Man schöpft mit einer eisernen, mit Lehm ausgestrichenen Schöpfkelle eine Probe des flüssigen Metalls aus der auf den Rücken gelegten Birne, gießt sie in eine eiserne Form, schmiedet den erhaltenen kleinen Block unter einem Dampfhammer zu einer flachen Scheibe oder einem Flachstabe aus, löscht die Probe in Wasser ab und prüft sie auf ihre Biegungsfähigkeit (Seite 80 III). Da der Kohlenstoffgehalt in jedem Falle weniger als 0,1 v. H. beträgt, muß die Probe auch bei einer Stärke von mehreren Millimetern sich flach zusammenschlagen lassen, ohne zu reißen. Zerbricht man sie, so muß sie ein feinkörniges Gefüge zeigen. Die Anstellung des ganzen Versuchs beansprucht nur wenige Minuten, so daß eine nachteilige Abkühlung des in der Birne stehenden Metalls, welches noch von der Schlacke bedeckt ist, nicht eintreten kann. Ist das Ergebnis des Versuchs befriedigend, so erfolgt gewöhnlich das Abgießen der Schlacke in eine fahrbare, unter die Birne gebrachte Pfanne und hierauf der Zusatz von Eisenmangan oder Spiegeleisen; war die Probe noch spröde und zeigte sie ein verhältnismäßig grobkörniges Gefüge, ein sicheres Zeichen des noch anwesenden reicheren Phosphorgehalts[1]), so wird die Birne noch einmal aufgerichtet und das Blasen einige Zeit fortgesetzt.

Gießt man die Schlacke erst ab, nachdem der Manganzusatz gegeben ist, so läuft man Gefahr, daß durch den Zusatz, insbesondere durch seinen Kohlenstoffgehalt, Phosphor reduziert und in das Eisen zurückgeführt wird.

Die Höhe des Zusatzes wird in ähnlicher Weise wie beim sauren Verfahren mit annähernd völliger Entkohlung bemessen. Auch hier gibt man, sofern man nicht ganz weiches Eisen darstellen, sondern ihm einen etwas höheren Kohlenstoffgehalt zuführen will, gewöhnlich Eisenmangan und dann Spiegeleisen; z. B. für ein Erzeugnis mit etwa 0,3 v. H. Kohlenstoff auf je 100 kg des Einsatzgewichts 0,8 kg Eisenmangan mit 60 v. H. Mangan nebst 6 kg Spiegeleisen mit 12 v. H. Mangan, oder ähnlich.

Für Erzeugung wirklichen Stahls mit nicht allzu hohem Mangangehalte kommen die auf Seite 290 III erwähnten Kohlungsverfahren (Darbyverfahren, Düdelinger Verfahren) zur Anwendung.

Nachdem der Zusatz gegeben ist, folgt auch beim Thomasverfahren das Ausgießen in die erhitzte Pfanne und aus dieser in die Gußformen.

Kalter und heißer Gang.

Nicht immer ist die Temperatur des Metalls in der Birne so, wie es dem günstigen Verlaufe des Verfahrens am besten entspricht.

---

[1]) Die Benutzung des Bruchaussehens für die Schätzung des Phosphorgehalts läßt sich nur durch den Vergleich von Proben mit abweichendem Phosphorgehalte erlernen. Der Ausdruck: „ein verhältnismäßig grobkörniges Gefüge“ ist gewählt worden, weil das Gefüge des in beschriebener Weise behandelten Thomaseisens auch bei noch ziemlich hohem Phosphorgehalte (0,1 v. H. oder darüber) feinkörnig erscheint, wenn man es mit dem Gefüge kohlenstoffarmen Schweißeisens vergleicht.

Ein **kalter Gang** entsteht, wenn das Roheisen selbst nicht genügend überhitzt war, wenn es nicht die ausreichende Menge solcher Körper enthielt, welche durch ihre Verbrennung die Temperatur steigern sollen (insbesondere Silicium beim sauren Verfahren), wenn die Birne ungenügend vorgewärmt war oder das Blasen zu langsam vonstatten geht. Dicke Funken, aus Eisenkügelchen bestehend, welche aus dem dickflüssigen Metalle emporgeschleudert wurden, sind dem austretenden Gasstrome beigemengt; der Wind findet stärkeren Widerstand, der Gang des Gebläses verlangsamt sich, die Windspannung steigt; an den Windröhren bilden sich Ansätze erstarrten Metalls. Da in der niederen Temperatur die Kohlenstoffverbrennung später beginnt, und da die zugeführte Windmenge wegen des größeren Widerstandes geringer ist, nimmt das eigentliche Kochen (die Kohlenoxydbildung) langsamer zu als beim regelmäßigen Gange; die Flamme erlischt zuletzt plötzlich. Kippt man nun die Birne um, so zeigt die Schlacke dickflüssige Beschaffenheit und setzt sich an den Wänden fest; die Flamme bei Spiegeleisenzusatz ist schwach, die Gasentwicklung unbedeutend. Das Eisen selbst fließt matt und erstarrt rasch; mitunter versetzt sich die Ausflußöffnung aus der Gießpfanne mit starr gewordenem Metalle, und man ist gezwungen, die Entleerung durch Kippen zu bewirken. In jedem Falle findet eine reichliche Bildung von „Schalen“, d. h. erstarrten Metalls, an den Wänden der Gießpfanne statt. Gewahrt der Betriebsleiter, daß der Gang zu kalt ist, so kann er mitunter durch Beschleunigung des Blasens in gewissem Grade Abhilfe schaffen; erfolgreicher ist gewöhnlich ein Einwerfen von reichem Siliciumeisen oder auch wohl von Aluminium in die Birne, sofern nicht eine sonstige nachteilige Beeinflussung dadurch zu befürchten ist. Die Anwendung erhitzten Gebläsewindes ist mehrfach empfohlen und vereinzelt auch versucht worden[1]), hat jedoch den Nachteil einer rascheren Zerstörung des Birnenbodens und verteuert die Betriebskosten durch die Ausgaben für die Unterhaltung der Winderhitzer und die Heizung.

Heißer Gang entsteht durch die entgegengesetzten Einflüsse als der kalte Gang, insbesondere durch hohen Siliciumgehalt und beträchtliche Überhitzung des Roheisens vor dem Einlassen in die Birne. Die Flamme ist durchsichtiger, bläulicher als beim gewöhnlichen Gange und erlischt allmählicher; da das Metall einen hohen Grad von Dünnflüssigkeit besitzt, ist das Geräusch in der Birne weniger heftig, und das Manometer zeigt bei gleicher Hubzahl des Gebläses geringere Windspannung. Das Kochen und die Flammenentwicklung bei Zusatz von Spiegeleisen ist heftig, die Flamme lang und spitz. Bei zu heißem Gange wird das Birnenfutter stark angegriffen; welche Änderungen die chemische Zusammensetzung des Erzeugnisses durch zu heißen Gang erleidet, wird bei Besprechung der chemischen Vorgänge Erläuterung finden. Abhilfe läßt sich schaffen, indem man Flußeisenstücke — Abfälle von früheren Einsätzen, Schienenenden und dergleichen mehr —

[1]) Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Band 22, Seite 436; „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 13.

in die Birne wirft und von dem flüssigen Metalle schmelzen läßt. Nicht selten arbeitet man absichtlich auf Erzielung eines heißen Ganges, welcher minder nachteilig ist als ein zu kalter Gang und ohne Kosten die Aufarbeitung jener Abfälle ermöglicht.

g) Der chemische Verlauf des Windfrischens.

Die Änderungen der Zusammensetzung des Eisens.

Für den Verlauf dieser Änderungen ist vornehmlich die in der Birne herrschende Temperatur und die Beschaffenheit des Birnenfutters, sauer oder basisch, maßgebend.

Die Umstände, von welchen die Temperatur abhängt, sind auf Seite 285 III bereits erörtert worden. Mit der Temperatur wächst das Verbrennungsbestreben des Kohlenstoffs rascher als dasjenige des Siliciums, Mangans, Phosphors (Seite 41, 300 I). Daher kann, wenn die Temperatur hoch ist, von dem Silicium oder Mangan noch ein Teil in dem Eisen anwesend sein, nachdem der Kohlenstoff schon bis auf einen kleinen Rest ausgeschieden wurde, während in weniger hoher Temperatur jene Körper vor dem Kohlenstoff ausscheiden. Phosphor aber kann überhaupt erst dann in reichlicher Menge verbrennen, wenn der größte Teil des Kohlenstoffgehalts ausgeschieden ist, da die Temperatur bei Flußeisenerzeugung stets höher sein muß als diejenige, bei welcher eine Abscheidung des Phosphors vor dem Kohlenstoff möglich ist (Seite 355 I).

Ein kieselsäurereiches Futter der Birne begünstigt die Verbrennung des Mangans und Eisens, macht aber die Verbrennung von Phosphor unmöglich (Seite 301 I), ein basisches Futter ermöglicht, sofern auch basische Zuschläge in entsprechender Menge gegeben werden[1]), die Abscheidung des Phosphors, begünstigt die Abscheidung des Siliciums und Kohlenstoffs[2]), verzögert aber die Verbrennung von Eisen und Mangan. Steigt nun bei Verbrennung eines reichlichen Phosphorgehalts die Temperatur erheblich, und ist die basische Schlacke reich an Mangan, so kann es sogar geschehen, daß der Manganoxydulgehalt der Schlacke als Oxydationsmittel für Phosphor, also der Phosphorgehalt des Eisens als Reduktionsmittel für Mangan dient: $4\,CaO + 5\,MnO + 2\,P = 4\,CaO, P_2O_5 + 5\,Mn$. Der Mangangehalt des Eisens nimmt demnach für eine kurze Zeit, während der Phosphorgehalt rasch sich verringert, wieder zu[3]), um erst beim fortgesetzten Blasen wieder abzunehmen, sobald der größte Teil des Phosphors verbrannt ist.

---

[1]) Über die Höhe des erforderlichen Zuschlags vergl. Fußanmerkung 1 auf Seite 312 III.

[2]) Die Kohlenstoffverbrennung wird insofern auf basischem Futter begünstigt, weil Eisen und Mangan hier mehr geschützt bleiben und deshalb der Kohlenstoff in stärkerem Maße durch die Verbrennung in Anspruch genommen wird.

[3]) Daß Mangan durch Phosphor reduziert werden könne, wurde auch von Stead durch einen Versuch im kleinen bestätigt. Er schmolz in einem mit Kalk ausgefutterten Tiegel 100 Teile Phosphoreisen mit 20 Teilen Manganoxyd und fand dabei folgende Zusammensetzung des Metalls:

Der Schwefelgehalt des Eisens kann sowohl auf saurem als auf basischem Futter eine mäßige Abnahme erfahren, teils durch Verbrennung, teils durch Übergang in die Schlacke, zumal wenn diese basisch oder manganreich ist. Das Maß der Abscheidung ist jedoch nicht sehr erheblich und die Anwendung eines ausreichend schwefelarmen Roheisens ist daher erforderlich[1]).

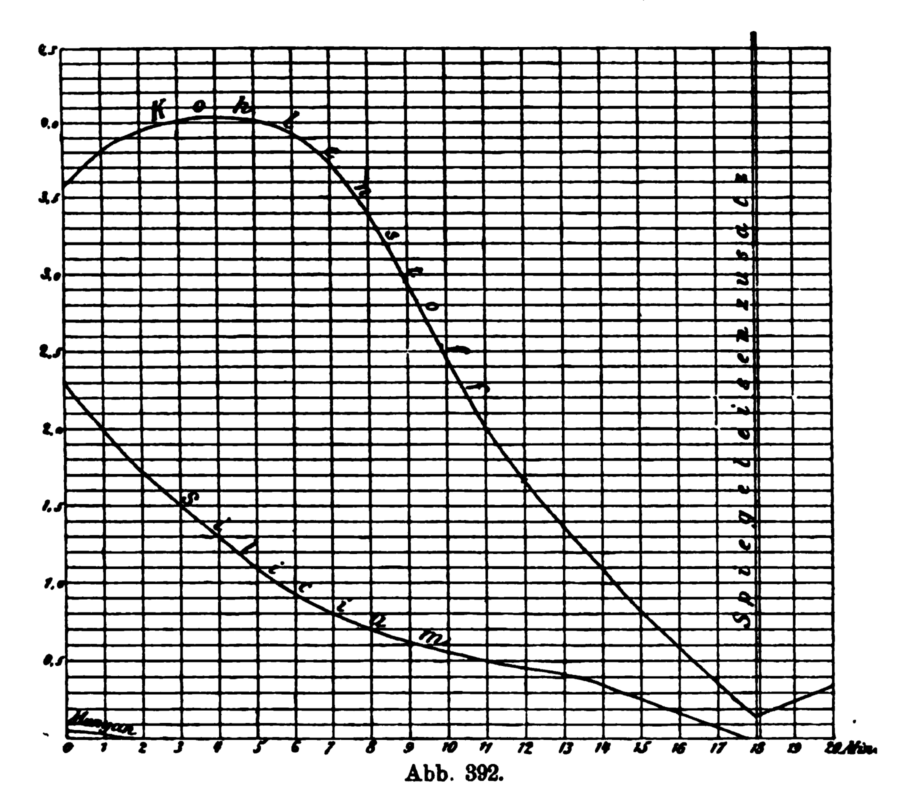


Abb. 392.

Einige Beispiele, bei denen die Einflüsse der ursprünglichen chemischen Zusammensetzung, der Anfangstemperatur und der Beschaffenheit des Birnenfutters besonders deutlich vor Augen treten, mögen zur Erläuterung des Gesagten dienen.

	Vor dem Schmelzen Hundertteile	Nach dem Schmelzen Hundertteile
Eisen	87,50	86,20
Phosphor	12,38	10,16
Mangan	0,12	3,24

Die entstandene Schlacke enthielt 11,2 v. H. Phosphorsäure, während das angewendete Manganoxyd nur 0,05 v. H. enthalten hatte (The Journal of the Iron and Steel Institute 1893, I, Seite 64).

[1]) Niedt fand, daß beim basischen Verfahren 36 bis 91 v. H., im Mittel etwa zwei Drittel des ursprünglichen Schwefelgehalts abgeschieden werden können, und daß die Gase der Thomasbirne schweflige Säure enthalten. Zeitschrift des oberschlesischen berg- und hüttenmännischen Vereins 1885, Seite 392.

1. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Siliciumreiches Roheisen (2 bis 3 v. H. Silicium), niedrige Anfangstemperatur. Der Verlauf ist durch nachstehende Reihe der Ergebnisse von Analysen gekennzeichnet, welche durch E. Barker in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts auf einem englischen Eisenwerke ausgeführt wurden [1]).

	Roheiseneinsatz	Nach 6 Minuten	Nach 12 Minuten	Bei Beendigung des Blasens vor Spiegeleisenzusatz	Nach Spiegeleisenzusatz 20 Minuten nach Beginn des Blasens
Kohlenstoff . . .	3,57	3,94	1,64	0,19	0,37
Silicium	2,26	0,95	0,47	n. best.	n. best.
Mangan	0,04	Spur	Spur	Spur	0,54
Schwefel	0,107	0,098	0,096	0,098	0,090
Phosphor	0,073	0,070	0,070	0,070	0,056

Stellt man die sich vollziehenden Veränderungen des Eisens durch Schaulinien dar, so ergibt sich Abb. 392.

Anfänglich verbrennt nur Silicium und die anwesende geringe Menge Mangan; da das Gesamtgewicht des Metalls bei der Verbrennung dieser Körper sowie eines Teils des Eisens abnimmt, erscheint der Kohlenstoffgehalt, welcher vorläufig unbeeinflußt bleibt, nach Verlauf der ersten sechs Minuten höher als im Anfange. Jetzt aber ist die Temperatur beträchtlich gestiegen; die Kohlenstoffverbrennung beginnt und setzt sich bis zur Beendigung des Blasens fort.

2. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Durch Kessler wurden auf einem norddeutschen (nicht näher bezeichneten) Eisenwerke im Anfange der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts Untersuchungen angestellt, deren eine die nachfolgenden Ergebnisse lieferte. Das verarbeitete Roheisen unterschied sich vornehmlich durch seinen hohen Mangangehalt von dem Roheisen im 1. Beispiel. Die Anfangstemperatur war niedrig, wie das Verhalten des Kohlenstoffs erweist [2]).

	Roheiseneinsatz	In Zwischenpausen ohne Zeitangabe			Bei Beendigung des Blasens	Nach Spiegeleisenzusatz
Kohlenstoff .	3,03	3,17	3,19	1,61	0,19	0,21
Silicium . .	2,41	1,26	0,27	0,03	0,01	0,16
Mangan . .	2,45	0,70	0,19	0,12	0,06	0,22
Schwefel . .	0,024	0,010	0,007	0,013	0,023	0,023
Phosphor . .	0,130	0,140	0,135	0,130	0,140	0,150

Beachtenswert ist die Zunahme des Siliciumgehalts nach Spiegeleisenzusatz. Silicium ist durch Mangan aus der Schlacke oder dem

[1]) Zeitschr. für Bauwesen, Band 26 (1876), Seite 427.
[2]) Dinglers polyt. Journal, Band 205, Seite 436.

Birnenfutter reduziert worden. Die hohe Temperatur, welche das Bad durch die reichliche Verbrennung von Silicium erhalten hat, muß diese Reduktion befördert haben, während aus derselben Ursache der Kohlenstoff des Zusatzes großenteils durch den im Bade anwesenden Sauerstoff verbrannt wurde und die Kohlenstoffanreicherung nur unerheblich ist.

In beiden hier besprochenen Fällen ist der ursprüngliche Siliciumgehalt des Roheisens bei Beendigung des Blasens bis auf kleine Mengen verbrannt. Wie schon erwähnt wurde, bleiben nicht

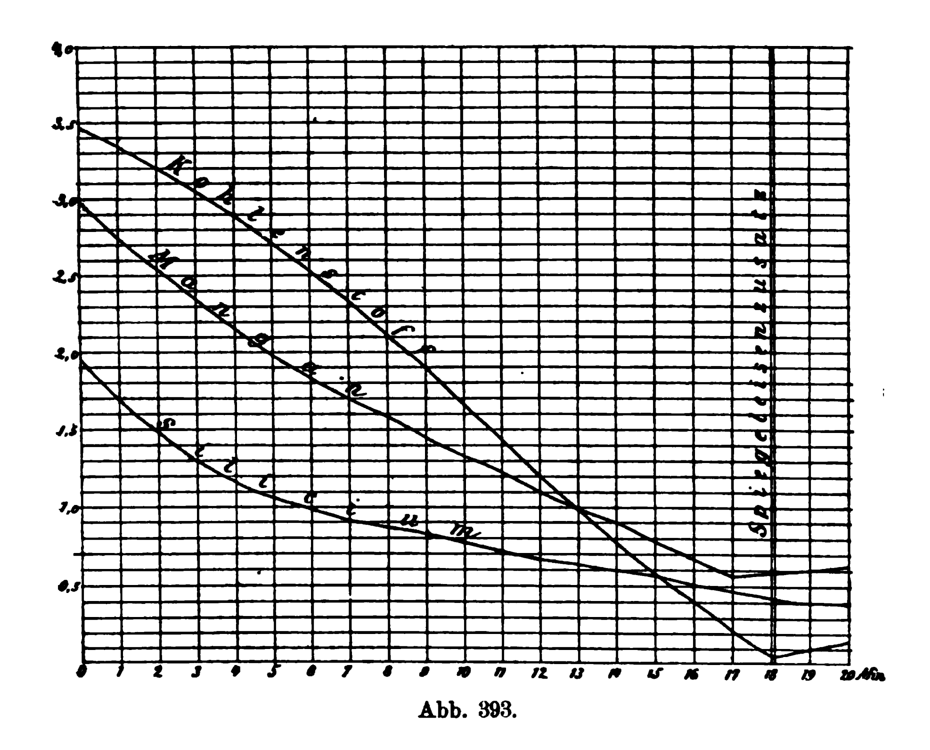


Abb. 393.

selten 0,8 v. H. Silicium oder noch mehr im Eisen zurück, wenn die Anfangstemperatur oder der Siliciumgehalt etwas höher war, oder wenn durch rascheres Blasen die Temperatur gesteigert und die Kohlenstoffverbrennung beschleunigt wurde.

3. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Etwas weniger hoher Siliciumgehalt als in dem vorigen Beispiele (1,8 bis 2 v. H. Silicium), hohe Anfangstemperatur. Nachstehende, von Müller auf dem Stahlwerk Osnabrück in den siebenziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgeführte Untersuchungen[1]) zeigen den Verlauf in diesem Falle.

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 390.

	Roheiseneinsatz	Nach 5 Minuten	Nach 10 Minuten	Nach 18 Minuten	Nach Spiegeleisenzusatz und 40 Sek. langem Blasen
Kohlenstoff	3,46	2,71	1,63	0,092	0,104
Silicium	1,93	1,07	0,79	0,532	0,246
Mangan	2,99	1,92	1,36	0,538	0,621

In der hohen Anfangstemperatur beginnt der Kohlenstoff sofort zu verbrennen; Abb. 393 zeigt den Verlauf in Schaulinien, durch die steil abfallende Kohlenstofflinie und die flachere Siliciumlinie deutlich von der oben gegebenen Darstellung des Verlaufs bei minder hoher Anfangstemperatur und reicherem Siliciumgehalte unterschieden. Der Umstand, daß nach Spiegeleisenzusatz noch einige Zeit (40 Sekunden) geblasen wurde, erklärt zur Genüge die Abnahme des Siliciumgehalts auch während dieses Abschnitts. Dennoch ist der Siliciumgehalt des Erzeugnisses noch ziemlich bedeutend; auch Mangan ist neben dem Silicium in noch ansehnlicher Menge zurückgeblieben, nachdem der Kohlenstoffgehalt schon größtenteils verbrannt ist.

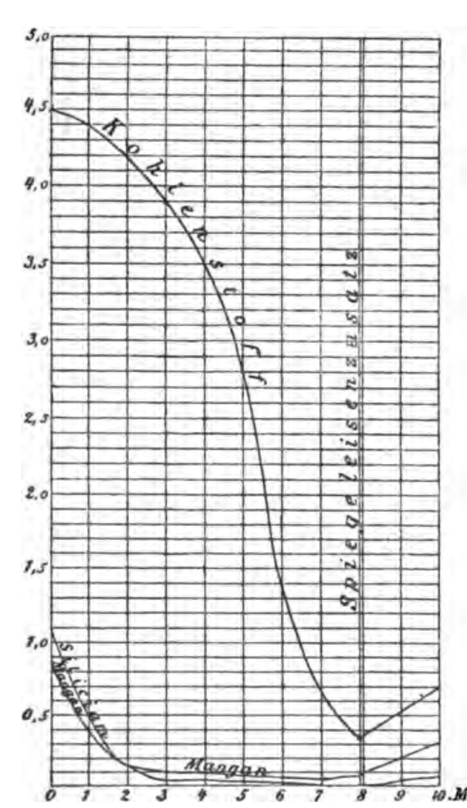


Abb. 394.

4. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Hohe Anfangstemperatur. Ebenfalls von Müller[1]) wurde folgender Verlauf des Frischens auf der Gußstahlfabrik Bochum gefunden.

Hier ist der Siliciumgehalt noch geringer als in dem vorigen Beispiele; trotzdem bleiben auch hier nach der beinahe völligen Entkohlung Silicium und Mangan im Eisen zurück. Da ein Nachblasen nach Spiegeleisenzusatz nicht stattfindet, zeigt sich, wie bei der oben mitgeteilten Untersuchung von Kessler, eine Anreicherung des Siliciumgehalts durch die Einwirkung des zugesetzten Mangans auf das Birnenfutter. Eine Zeichnung des Verlaufs würde ähnliche Schaulinien wie Abb. 393 ergeben.

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1878, Seite 392.

	Roheisen einsatz	Nach 3½ Minuten	Nach 6½ Minuten	Nach 9½ Minuten	Nach 11¼ Minuten	Nach Spiegeleisenzusatz
Kohlenstoff	3,87	2,98	1,75	0,80	0,07	0,42
Silicium	1,48	0,88	0,75	0,68	0,18	0,34
Mangan	1,76	1,01	0,94	0,78	0,26	1,06

5. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Der Siliciumgehalt ist noch niedriger als bei dem vorigen Beispiele (0,6 bis 1,8 v. H.), die Anfangstemperatur hoch, der Verlauf rasch. Das Verfahren in dieser Form entwickelte sich bald nach der Erfindung des Windfrischens zunächst in Schweden, wo die Verhältnisse nicht die Erzeugung eines so siliciumreichen Roheisens wie in Großbritannien ermöglichten; es ist auch in Nordamerika üblich geworden nach Maßgabe des Umstandes, daß die Erzeugungskosten für siliciumärmeres Roheisen niedriger als für siliciumreicheres sind.

In jedem Falle beginnt sofort die Kohlenstoffverbrennung. Sind die Verhältnisse für die Erzielung einer hohen Temperatur günstig (starke Vorwärmung des Roheisens und der Birne, großer Einsatz, rasches Blasen), so kann man bis zur Entkohlung blasen, und der Verlauf ist ähnlich wie bei dem zweiten Beispiele, nur mit dem Unterschiede, daß weder Silicium noch Mangan in erheblichen Mengen zurückbleiben, wenn der Kohlenstoffgehalt verbrannt ist; bei weniger günstigen Temperaturverhältnissen muß das Blasen unterbrochen werden, wenn das Silicium verbrannt, der Kohlenstoff zum Teil noch unverbrannt ist, und man erhält auch ohne fernere Zuführung reicherer Kohlenstoffmengen Stahl.

Göransson und Magnuson fanden bei Untersuchung eines derartigen Verlaufs auf dem schwedischen Eisenwerke Sandviken im Jahre 1877 nachstehende Zusammensetzung der Eisenproben[1]).

	Roheiseneinsatz	Nach 3 Minuten	Nach 6 Minuten	Nach 8 Minuten	Nach Spiegeleisenzusatz
Kohlenstoff	4,49	3,87	1,30	0,33	0,70
Silicium	1,08	0,026	0,026	0,015	0,058
Mangan	0,332	0,108	0,090	0,075	0,324
Schwefel	0,020	0,015	0,010	0,010	0,015
Phosphor	0,017	0,018	0,016	0,016	0,018

Abb. 394 auf Seite 324 zeigt den Verlauf in Schaulinien.

6. Beispiel. Wie 5. Bei einer von Tamm angestellten Untersuchung auf demselben Eisenwerke[2]) enthielt

[1]) Iron, Band 14, Seite 3 (aus Jernkontorets Annaler 1878). Verfasser der Abhandlung ist Tamm (vergl. Literatur).

[2]) Wie Fußanmerkung 1.

	Kohlenstoff	Silicium	Mangan	Phosphor
das Roheisen	4,34	0,83	0,66	0,02
das Eisen nach Beendigung des nur etwa 5½ Minuten währenden Blasens vor Spiegeleisenzusatz	0,06	0,04	0,06	0,02

In dem letzteren Falle hatte also trotz des noch niedrigeren Siliciumgehalts des Roheiseneinsatzes das Blasen bis zur beinahe völligen Entkohlung fortgesetzt werden können.

7. Beispiel. Basisches Verfahren. Roheisen mit verhältnismäßig niedrigem Phosphor- und verhältnismäßig hohem Siliciumgehalte. Die nachfolgend mitgeteilten Untersuchungen sind durch Finkener bald nach Einführung des basischen Verfahrens (1879) in Hörde angestellt worden[1]. Der Einsatz bestand aus nur etwa 3,5 t Roheisen; zugesetzt wurden 220 kg Spiegeleisen und Eisenmangan.

	Roheiseneinsatz	Nach 5 Minuten	7½	9	12	13¼	13 11/12	14¼	Fertig geblasen	Nach Spiegeleisenzusatz
Kohlenstoff.	3,12	2,51	1,73	1,19	0,07	0,08	0,08	—	0,07	0,20
Silicium . .	0,56	0,01	0,006	0,008	0,005	0,001	—	—	0,001	0,008
Mangan . .	0,41	0,18	0,19	0,21	0,11	0,07	0,10	0,07	0,06	0,31
Schwefel. .	0,41	0,44	0,48	0,42	0,47	0,46	0,24	0,21	0,20	0,15
Phosphor .	1,398	1,442	1,400	1,354	1,069	0,524	0,132	0,066	0,046	0,067
Nickel . .	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,07	0,07	0,04	0,08	0,06
Kupfer . .	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06

Aus den früher besprochenen Gründen pflegt man in der Jetztzeit nicht mehr so phosphorarmes Roheisen zu verarbeiten; aber die Analysen sind lehrreich für Erkennung des chemischen Verlaufs unter den gegebenen Verhältnissen. Auch das Verhalten des Schwefels tritt hier deutlicher als bei den meisten übrigen Untersuchungen zutage wegen des Umstandes, daß der Schwefelgehalt des verarbeiteten Roheisens ungewöhnlich hoch war.

Von dem Schwefelgehalte des Roheisens werden demnach etwa drei Fünftel abgeschieden. Das Verhalten des Kohlenstoffs, Siliciums, Mangans und Phosphors ist durch die Schaulinien in Abb. 395 dargestellt. Der Kohlenstoff- und Siliciumgehalt verbrennen rasch, der Mangangehalt allmählich, der Phosphorgehalt erst beim Nachblasen. Eine Reduktion von Silicium aus der Schlacke bei Spiegeleisenzusatz durch Mangan, wie beim sauren Verfahren, ist in Anbetracht der basischen Beschaffenheit der Schlacke ausgeschlossen.

8. Beispiel. Basisches Verfahren. Stark überhitztes Roheisen mit hohem Phosphor- und niedrigem Siliciumgehalte. Die Untersuchungen wurden durch Niedt bei

1) Mitteilungen der Königl. techn. Versuchsanstalt zu Berlin 1883, Seite 31.

der Thomashütte zu Peine im Jahre 1885 ausgeführt[1]). Der Einsatz betrug 10 t Roheisen, der Zusatz von Eisenmangan und Spiegeleisen 90 kg, der Kalkzuschlag 1650 kg.

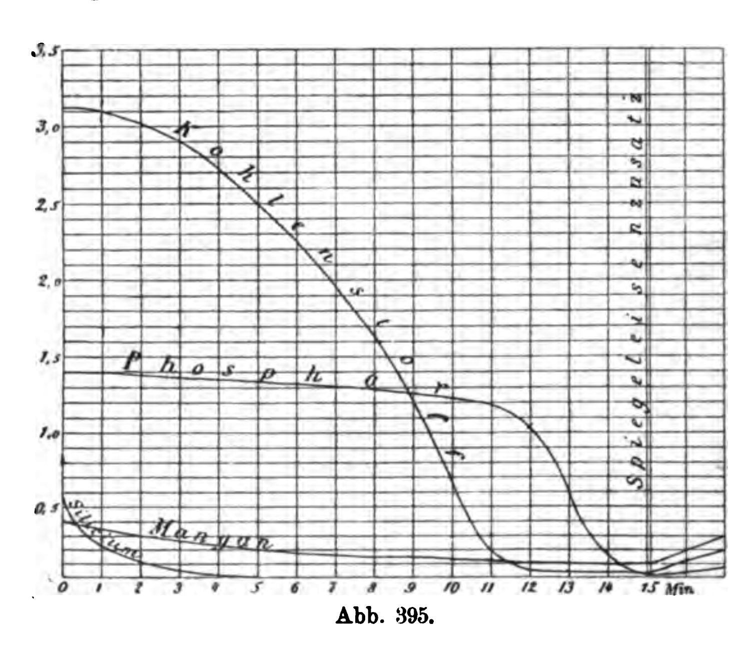


Abb. 395.

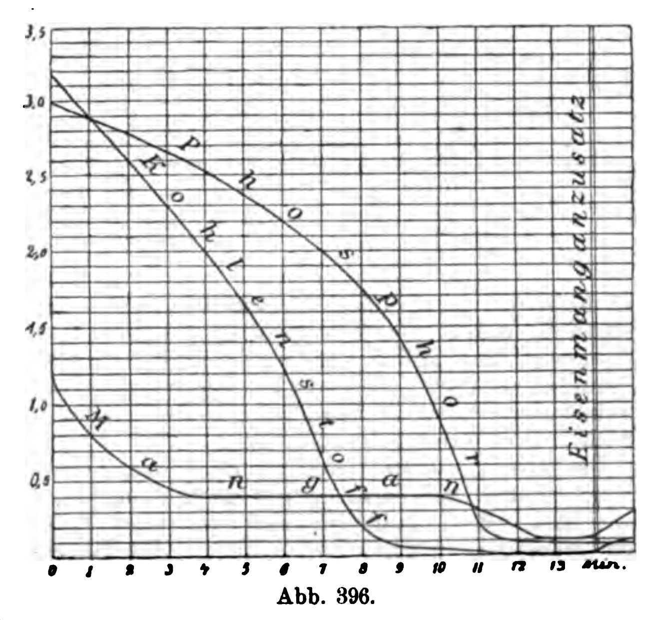


Abb. 396.

---

1) Zeitschr. des oberschles. berg- und hüttenm. Vereins 1885, Seite 340.

	Roheisen	Nach 4 Minuten	7	9	10	11	12¼	13¼	Nach Eisenmanganzusatz
Kohlenstoff . . .	3,163	1,933	0,755	0,046	0,045	0,018	0,018	0,018	0,07
Silicium	0,007	—	—	—	—	—	—	—	—
Mangan	1,19	0,40	0,40	0,40	0,040	0,32	0,14	0,11	0,28
Schwefel	0,052	0,065	0,077	0,050	0,070	0,048	0,041	0,046	0,038
Phosphor	2,982	2,525	2,012	1,465	0,366	0,306	0,109	0,090	0,090

Deutlicher als die Ziffern selbst zeigen die in Abb. 396 verzeichneten Schaulinien die Unterschiede des Verlaufs im Vergleiche zu dem vorher besprochenen Falle. Wegen der hohen Anfangstemperatur fällt die Kohlenstofflinie sofort steil ab; trotzdem verringert sich auch sofort der Phosphorgehalt, da das Eisen frei von Silicium ist, aber die Phosphorlinie wird erst steiler, nachdem der größere Teil des Kohlenstoffgehalts verbrannt ist.

9. Beispiel. Basisches Verfahren. Phosphor- und Siliciumgehalt ähnlich wie bei dem vorigen Beispiele, Mangangehalt etwas niedriger. Die Untersuchungen betreffen einen im Jahre 1888 bei der Peiner Thomashütte verarbeiteten Einsatz und sind im Laboratorium des Eisenwerks ausgeführt [1]). Der Einsatz betrug 10 t, der Eisenmanganzusatz 40 kg, Kalkzuschlag 1300 kg. Der Siliciumgehalt des Eisens wurde nicht bestimmt, war aber nicht erheblich.

	Roheisen	Nach 2 Minuten	4	7	8	9	10	10¼	Nach Eisenmanganzusatz
Kohlenstoff	3,40	2,40	1,42	0,12	0,06	0,08	0,08	0,02	0,06
Mangan	0,81	0,10	0,13	0,10	0,36	0,52	0,22	0,18	0,35
Phosphor	2,92	2,30	2,15	1,70	0,99	0,25	0,07	0,07	0,07

Das in Abb. 397 gezeichnete Schaubild ist dem des vorigen Beispiels ähnlich, unterscheidet sich aber wesentlich davon durch das Ansteigen der Manganlinie während der Phosphorverbrennung nach dem Ausscheiden des Kohlenstoffs (Seite 320 III). Auch die Phosphorlinie zeigt eine etwas andere, den Zweck des Nachblasens noch deutlicher veranschaulichende Form.

Jenes Verhalten des Mangans während des Nachblasens läßt sich nicht selten auch bei Verarbeitung noch manganärmeren Roheisens beobachten. Es kommt vor, daß von 0,50 v. H. ursprünglich anwesenden Mangans, welches im Anfange des Blasens sich auf 0,10 v. H. abminderte, beim Nachblasen wieder 0,35 v. H. im Metalle gefunden wird. Jedenfalls spielt die Temperatur bei diesem Vor-

[1]) Nach persönlicher Mitteilung.

gang eine Rolle. Bei dem 8. Beispiele (Abb. 396) währte das Blasen im ganzen 13¼ Minuten, bei dem 9. Beispiele (Abb. 397) dagegen nur 10¼ Minuten. Man darf annehmen, daß in dem letzteren Falle die Temperatur während des Nachblasens höher als in dem andern Falle war. Im übrigen läßt sich vermuten, daß bei derartigen Untersuchungen das Wiedereintreten des Mangans in das Eisen mitunter auch übersehen wird, wenn man versäumt, gerade in dem richtigen Augenblicke eine Probe zu nehmen.

Die Änderungen der Zusammensetzung der Schlacken.

Die Schlacken sowohl des sauren als des basischen Verfahrens sind stets erheblich ärmer an Eisen als die bei den Verfahren der Schweißeisenerzeugung erfolgenden Schlacken. In der höheren Temperatur der Bessemer- und Thomasbirne ist das Vereinigungsbestreben des Kohlenstoffs zum Sauerstoff bedeutend gesteigert. Während daher bei der Verarbeitung des Roheisens zu Schweißeisen vorwiegend das Eisenoxyd Fe_2O_3 als Oxydationsmittel für Kohlenstoff dient, hierbei nur einen Teil seines Sauerstoffgehalts abgebend, wird in der Birne auch das bei der Berührung des Windes mit dem Metalle entstandene Eisenoxydul durch den Kohlenstoffgehalt des Metalls großenteils wieder zerlegt; aus dem Futter der Birnen und dem beim basischen Verfahren gegebenen Zuschlage aber werden fremde Körper in die Schlacken geführt, welche ihren Eisengehalt verdünnen. Der Umstand, daß trotzdem die Entkohlung sich rasch vollzieht, findet eben in der hohen Temperatur seine Begründung. Je mehr der Kohlenstoffgehalt des Eisens sich verringert, desto mehr steigt der Eisengehalt der Schlacken, sofern nicht etwa durch reichliche Aufnahme von Fremdkörpern aus dem Birnenfutter oder den Zuschlägen die Schlackenmenge unverhältnismäßig vergrößert wird; zumal beim basischen Verfahren wächst der Eisengehalt der Schlacken in starkem Maße während des Nachblasens. Unter übrigens gleichen Verhältnissen aber sind die Schlacken um so ärmer an Eisen, je höher die Temperatur ist, teils, weil das in der höheren Temperatur gesteigerte Verbrennungsbestreben des im Eisen noch anwesenden Kohlenstoffs der Bildung

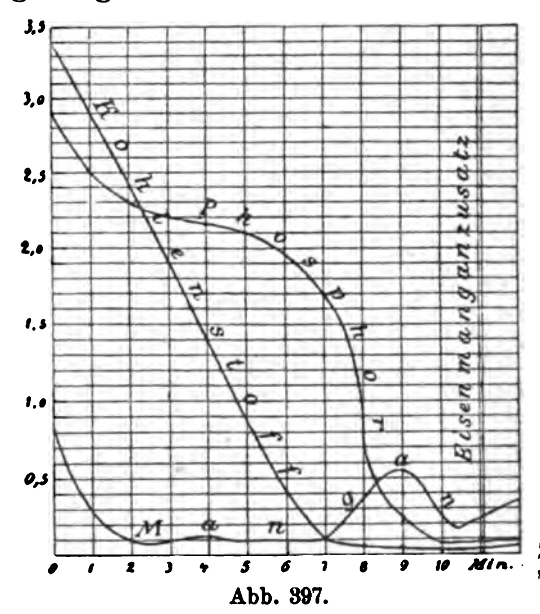


Abb. 397.

und Verschlackung von Eisenoxyden entgegenwirkt, teils, weil durch das in der höheren Temperatur reichlicher aufgelöste Birnenfutter die Schlackenmenge vermehrt und der Eisengehalt der Schlacke stärker verdünnt wird. Ein hoher Mangangehalt des Roheisens erniedrigt den Eisengehalt der Schlacke, da er zum größten Teile in die Schlacke übergeht und die Schlackenmenge vermehrt, auch das Eisen vor starker Verbrennung schützt; der Einfluß tritt deutlicher beim sauren als beim basischen Verfahren zutage, weil bei letzterem die entstehende Schlackenmenge ohnehin reichlicher ist.

In den Schlacken des sauren Verfahrens kann das Eisen nur als Oxydul zugegen sein. Die geringe Beständigkeit des Eisenoxyds $Fe_2 O_3$ in hoher Temperatur und die Eigenschaft des Eisenoxyduls als stärkere Base macht die Anwesenheit von Eisenoxyd in der kieselsäurereichen Schlacke unmöglich (Seite 203 I). In den basischen Schlacken findet man dagegen neben Eisenoxydul auch Eisenoxyd; ob dieses schon in der flüssigen Schlacke zugegen war oder erst beim Erkalten unter Luftzutritt sich gebildet hatte, ist bislang nicht nachgewiesen worden.

Der Kieselsäuregehalt der Schlacken entstammt dem Siliciumgehalte des Roheisens, beim basischen Verfahren auch dem etwa vorhandenen Kieselsäuregehalte des Zuschlagkalks und beim sauren Verfahren in reichlichem Maße dem Birnenfutter. Da von diesem um so mehr aufgelöst wird, je höher die Temperatur in der Birne ist, steigt mit dieser der Kieselsäuregehalt der Schlacke, während der Gehalt an den übrigen Bestandteilen sich verringert.

Der Schwefelgehalt ist in den basischen Schlacken durchschnittlich größer als in den sauren, in welchen er selten in größeren Mengen als 0,1 v. H. auftritt. Er stammt teils aus dem Zuschlagkalk, teils aus dem Roheisen, und er nimmt daher gegen Ende des Blasens zu. Besonders pflegt nach dem Zusatze von Mangan zum entkohlten Eisen eine Überführung von Schwefel in die Schlacke erkennbar zu sein [1]). In der frischen Thomasschlacke ist der Schwefel größtenteils als Sulfid (Schwefelcalcium oder Schwefelmangan) zugegen, und er entweicht beim Zerlegen der Schlacke durch Salzsäure als Schwefelwasserstoff. Sulfate können in der hohen Temperatur der Thomasbirne nicht lange bestehen. Lagert die basische Schlacke aber einige Zeit an der Luft, so findet teilweise Zersetzung statt (Seite 204 I), und bei der Untersuchung findet man nunmehr auch Schwefelsäure neben den Sulfiden [2]).

Phosphorsäure kann nur in den basischen Schlacken auftreten, und ihr Gehalt in diesen hängt von dem Phosphorgehalte des Roheisens und der gebildeten Schlackenmenge, also vornehmlich von der Menge des Zuschlagkalks ab. Erwähnung möge hier die eigentümliche, öfter beobachtete Tatsache finden, daß selbst Kalkstücke, welche noch nicht in der Schlacke sich gelöst hatten,

[1]) „Stahl und Eisen" 1893, Seite 457.

[2]) Calciumsulfat, für sich allein erhitzt, wird in Weißglut zerlegt (Zeitschr. für anal. Chemie, Band 7, Seite 244); auch metallisches Eisen zerlegt Calciumsulfat unter Bildung von Schwefeleisen. Einiges Nähere hierüber: „Stahl und Eisen" 1893, Seite 50 und 51 (Hilgenstock).

wenn sie während des Blasens der Birne entnommen wurden, bereits phosphorsäurehaltig geworden waren.

Wegen des Umstandes aber, daß der zugesetzte Kalk erst allmählich verschlackt wird und anfänglich der gebildeten Schlacke zum Teil nur mechanisch eingemengt ist, fällt es beim basischen Verfahren schwerer als beim sauren, schon im ersten Abschnitte des Blasens Schlackenproben von durchschnittlich richtiger Zusammensetzung zu entnehmen. Dieses Verhalten des Kalks erklärt es auch, daß die wirklich gebildete Schlacke anfänglich verhältnismäßig reich ist an Kieselsäure. Erst nach und nach wird mehr Kalk verschlackt; aber gleichzeitig beginnt dann die Bildung und Verschlackung der Phosphorsäure und die reichlichere Verbrennung von Eisen, die Schlackenmenge wird größer, und so kommt es, daß zwar der Kieselsäuregehalt der Schlacke immer geringer wird, der Kalkerdegehalt aber trotz der fortschreitenden Verschlackung des Kalks keine beträchtliche Anreicherung, bisweilen sogar eine Abnahme erfährt.

1. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Bei der, einen Zeitraum von 48 Minuten umfassenden, also sehr langsam verlaufenden Verarbeitung eines Einsatzes mit 3,98 v. H. Kohlenstoff, 1,96 v. H. Silicium, 3,46 v. H. Mangan auf dem Eisenwerke Neuberg im Jahre 1866, besaßen die Schlacken nachstehende Zusammensetzung [1]).

	Nach 28 Minuten	Nach 35 Minuten	Nach 38 Minuten	Spiegeleisenzusatz
Kieselsäure	46,78	51,75	46,75	47,25
Tonerde	4,65	2,98	2,80	3,45
Eisenoxydul	6,78	5,50	16,86	15,43
Manganoxydul	37,00	37,90	32,28	31,89
Kalkerde, Magnesia	4,51	2,11	1,71	1,84
Zusammensetzung des Eisens.				
Kohlenstoff	2,64	0,95	0,09	0,23
Silicium	0,44	0,11	0,08	0,03
Mangan	1,64	0,48	0,11	0,14

Die lange Zeitdauer des Blasens läßt vermuten, daß eine hohe Temperatur in der Birne trotz des ziemlich hohen Siliciumgehalts im Roheisen nicht aufkommen konnte; der trotz des hohen Mangangehalts des Roheisens verhältnismäßig reichliche Eisengehalt der Endschlacken gibt die Bestätigung hierfür.

2. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Schlacken bei Verarbeitung eines ziemlich siliciumarmen, aber stark überhitzten Roheisens unter raschem Blasen auf dem Eisenwerke

[1]) Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1867, Nr. 23; Dinglers polyt. Journal, Band 185, Seite 30. Die Analysen wurden im General-Münzprobieramte in Wien ausgeführt.

Sandviken im Jahre 1877. Untersuchungen von Göransson und Magnuson. Die Zusammensetzung der zugehörigen Eisenproben ist auf Seite 325 III (5. Beispiel) mitgeteilt. Die nach Spiegeleisenzusatz gebildete Endschlacke wurde nicht untersucht.

	Nach 3 Minuten	Nach 6 Minuten	Nach 8 Minuten
Kieselsäure	53,44	57,80	55,76
Tonerde	1,84	1,94	1,58
Eisenoxydul	20,24	17,04	18,48
Manganoxydul	23,90	22,80	22,28
Erden	0,44	0,46	0,89

Der Eisengehalt ist hier noch beträchtlicher als in den Schlacken des vorigen Beispiels, aber auch der Kieselsäuregehalt ist höher. Das verwendete Roheisen war ärmer an Mangan, die Gesamtmenge der entstehenden Schlacke war daher geringer, und aus diesem Grunde erscheint der Eisengehalt höher. Die höchste Temperatur ist bei der Entnahme der zweiten Probe erreicht, der Kieselsäuregehalt ist hier am höchsten, der Eisenoxydulgehalt am wenigsten hoch. Bei der Fortsetzung des Blasens wird wieder Eisen verbrannt, der Eisenoxydulgehalt steigt und der Kieselsäuregehalt nimmt ab.

3. Beispiel. Bessemerverfahren auf saurem Futter. Deutlicher als bei den bisher besprochenen Beispielen läßt sich der Einfluß der Temperatur auf die Zusammensetzung der Schlacken erkennen, wenn man die Zusammensetzung der bei Verarbeitung gleicher Einsätze, das eine Mal bei heißem, das andere Mal bei kaltem Gange entstandenen Schlacken vergleicht. Die Schlacken, deren Zusammensetzung nachstehend mitgeteilt ist, erfolgten bei Verarbeitung ziemlich manganreicher Einsätze auf einem mitteldeutschen Werke und wurden von mir untersucht. Die bei heißem Gange entstandenen Schlacken waren olivengrün, die bei kaltem Gange entstandenen grünlichbraun.

	Vor dem Spiegeleisenzusatz genommene Proben		Endschlacken nach dem Spiegeleisenzusatz	
	Heißer Gang	Kalter Gang	Heißer Gang	Kalter Gang
Kieselsäure	50,85	49,45	53,95	49,05
Tonerde	3,15	1,80	2,81	2,80
Eisenoxydul	4,13	9,59	5,54	6,55
Manganoxydul	40,68	38,23	35,14	40,27
Kalkerde	n. best.	n. best.	2,32	n. best.
Magnesia	„	„	Spur	„

4. Beispiel. Basisches Verfahren. Bei der Verarbeitung eines ausnahmsweise siliciumreichen Roheisens (Silicium = 1,22, Phosphor = 2,18, Mangan = 1,08 v. H.) auf den Rheinischen Stahl-

werken im Jahre 1879, also sehr bald nach Einführung des basischen Verfahrens, ermittelte Finkener nachstehende Zusammensetzung der Schlacken in den verschiedenen Zeitabschnitten[1]).

	Nach $2^{46}/_{60}$ Minuten	Nach $5^{21}/_{60}$ Minuten	Nach $8^{5}/_{60}$ Minuten	Nach $10^{45}/_{60}$ Minuten	Nach $13^{28}/_{60}$ Minuten	Nach $15^{13}/_{60}$ Minuten	Nach $19^{14}/_{60}$ Minuten	Nach $19^{49}/_{60}$ Minuten	Nach Spiegeleisenzusatz
Kieselsäure	41,15	36,80	34,41	31,94	16,64	14,65	12,94	11,71	22,77
Phosphorsäure	0,84	3,12	2,99	4,02	7,15	11,60	18,83	18,15	16,92
Tonerde	1,12	1,80	1,08	1,00	1,29	1,35	1,07	1,01	1,12
Eisenoxyd	—	0,46	0,13	0,74	4,95	3,84	3,74	2,78	2,87
Eisenoxydul	2,40	3,97	3,60	4,23	8,42	7,15	5,84	7,19	5,94
Manganoxydul	9,08	11,02	10,72	9,94	8,51	7,39	4,25	4,05	4,80
Kalkerde	41,27	39,50	42,80	43,12	44,87	46,63	47,76	48,19	47,87
Magnesia	4,13	3,36	3,35	4,01	7,34	6,34	6,00	6,38	6,75
Schwefel	0,25	0,10	0,13	0,05	0,13	0,12	0,07	0,09	0,05
Schwefelsäure	0,06	0,05	0,09	0,05	0,12	0,15	0,07	0,05	0,13
Die dazu gehörigen Eisenproben enthielten:									
Silicium	0,72	0,15	—	—	—	—	—	—	0,01
Phosphor	2,15	0,22	2,16	2,10	2,05	1,91	0,23	0,09	0,14
Mangan	0,71	0,05	0,18	0,16	0,14	0,01	0,01	—	0,48

5. Beispiel. Basisches Verfahren. Bei der Verarbeitung eines siliciumarmen Einsatzes, dessen Veränderungen auf Seite 328 III mitgeteilt und in Abb. 396 durch Schaulinien dargestellt wurden, fand Niedt die folgende Zusammensetzung der miterfolgenden Schlacken.

	Nach 10 Minuten	Nach $12^1/_4$ Minuten	Eisenmanganzusatz
Kieselsäure	6,14	5,90	4,42
Phosphorsäure	29,23	21,16	18,25
Tonerde	n. best.	4,06	n. best.
Eisenoxyd	4,51	3,36	5,66
Eisenoxydul	5,19	13,64	19,46
Manganoxydul	4,80	4,34	4,29
Kalkerde	45,49	44,16	41,78
Magnesia	2,21	2,46	3,02
Schwefel	0,06	0,10	0,11

Recht beträchtlich ist hier der Phosphorsäuregehalt der zuerst genommenen Schlackenprobe. Um nicht in Widerspruch mit der in der Fußanmerkung auf Seite 312 III gegebenen Regel für das erforderliche Verhältnis zwischen Kalkerde, Phosphorsäure und Kieselsäure zu geraten, muß man annehmen, daß die anwesende Kieselsäure durch die übrigen Basen (Magnesia, Manganoxydul, Eisenoxydul) hinlänglich unschädlich gemacht sei, um die Einwirkung aller vorhandenen Kalkerde auf die Phosphorsäure zu ermöglichen.

[1]) Mitteilungen der Königl. techn. Versuchsanstalt zu Berlin 1883, Seite 31.

Einige fernere Beispiele von Endschlacken des Thomasverfahrens werden unten (Erzeugnisse des Verfahrens) gegeben werden.

Die Änderungen der Zusammensetzung der Gase.

Auch in der wechselnden Zusammensetzung der aus der Birne entweichenden Gase spiegelt sich der Verlauf des Frischens; manche Einzelvorgänge lassen sich überhaupt erst deutlich wahrnehmen, wenn man auch die Zusammensetzung der Gase ins Auge faßt.

Durch die Windöffnungen der Birne wird atmosphärische Luft in das Eisen geblasen, bestehend aus 79 Raumteilen Stickstoff und 21 Raumteilen Sauerstoff, oder auf 100 Raumteile Stickstoff 26,5 Raumteile Sauerstoff enthaltend. Der Stickstoff geht unverändert durch das Eisen hindurch; der Sauerstoffgehalt wird vollständig oder zum großen Teile zur Verbrennung von Silicium, Mangan, Eisen, Kohlenstoff und beim basischen Verfahren von Phosphor verbraucht. Verbrennt Kohlenstoff, so finden sich seine Verbrennungsgebilde, Kohlenoxyd oder Kohlendioxyd, in den entweichenden Gasen neben dem Stickstoff wieder; ein Raumteil Kohlendioxyd enthält die gleiche Raummenge Sauerstoff, ein Raumteil Kohlenoxyd die Hälfte. Die Verbrennungserzeugnisse aller übrigen Körper bleiben in der Birne zurück.

Kohlendioxyd findet sich vornehmlich dann, wenn auch freier Sauerstoff unverzehrt durch das Metall hindurchging. Der Fall kommt vor, wenn die Temperatur des Eisens niedrig, oder wenn die Höhe der Metallsäule, welche der Wind zu durchdringen hatte, verhältnismäßig gering war; insbesondere auch dann, wenn man zu tunlichster Beschleunigung des Frischens sehr reichliche Windmengen in das Bad führte, also bei der Arbeit mit siliciumarmem Eisen sowohl in der sauren als basischen Birne. Es ist hier nicht immer möglich, die Windzuführung so genau zu regeln, daß nicht ein Sauerstoffüberschuß bliebe. Steigt nun die Temperatur während des Frischens, so wächst auch das Verbrennungsbestreben der Körper. Die Menge des in den Gasen gebliebenen freien Sauerstoffs nimmt ab, ebenso das Verhältnis des Kohlendioxyds zum Kohlenoxyd. Daß schon innerhalb des Metalls Kolendioxyd entstehen kann, ist nicht wahrscheinlich; trifft aber gebildetes Kohlenoxyd in der Birne oberhalb des Metalls mit unverzehrt gebliebenem Sauerstoff zusammen, so ist die Gelegenheit zur Kohlendioxydbildung gegeben, und die Zusammensetzung einer genommenen Gasprobe läßt erkennen, in welchem Maße dieser Gelegenheit Folge gegeben wurde.

Der Gebläsewind enthält aber, wie alle uns umgebende Luft, stets Feuchtigkeit. Durch das flüssige Metall wird diese zerlegt; die Folge davon ist das Auftreten von Wasserstoff in den Birnengasen. Zwei Raumteile Wasserstoff entsprechen einem Raumteil Sauerstoff, welcher an Kohle gebunden oder in der Schlacke enthalten ist.

Aus dem Stickstoff- und Wasserstoffgehalte der Birnengase läßt sich demnach berechnen, wieviel Sauerstoff dem Eisen zugeführt wurde. Enthalten die entweichenden Gase weniger Sauer-

stoff, so wurde Eisen, Mangan, Silicium oder Phosphor verbrannt; sind die Gase aber sauerstoffreicher, so wurde aus der zuvor gebildeten Schlacke Eisen durch Kohle wieder reduziert. Der Fall kommt vor, wenn die Temperatur während des Frischens bedeutend zunimmt.

1. Beispiel. Verarbeitung eines siliciumreichen Einsatzes mit niedriger Anfangstemperatur (wie in Beispiel 1 auf Seite 322 III). Durch Snelus untersucht[1]). Die Ziffern geben die Raummengen der Gase an.

	Nach 2 Minuten	4	6	10	12	14
Sauerstoff	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Kohlendioxyd	9,12	8,57	8,05	3,58	2,38	1,34
Kohlenoxyd	0,06	3,95	4,58	19,59	29,44	31,11
Wasserstoff	0,00	0,88	2,00	2,00	2,16	2,00
Stickstoff	90,31	86,58	85,37	74,83	66,02	65,55

Wendet man die oben erörterte Berechnungsweise für die Ermittlung des Sauerstoffgehalts an, welcher in den einzelnen Zeitabschnitten im Bade zurückblieb, so ergibt sich beispielsweise:

Nach 2 Minuten wurde dem Bade Sauerstoff zugeführt:

durch 90,31 Raumteile Stickstoff $\frac{90,31}{100}$ 26,5 = ... 23,93 Raumteile
durch 0,00 Raumteile Wasserstoff . . . . 0,00 „
23,93 Raumteile

Die Gase enthielten:
freien Sauerstoff . . . . 0,51 Raumteile
in 9,12 Raumteilen Kohlendioxyd . . . 9,12 „
in 0,06 „ Kohlenoxyd . . . 0,03 „
9,66 . . . . . 9,66 Raumteile
mithin zur Verbrennung von Silicium, Mangan und Eisen verbraucht . . . . 14,27 Raumteile

Dagegen wurde nach 10 Minuten dem Bade Sauerstoff zugeführt:

durch 74,83 Raumteile Stickstoff $\frac{74,83}{100}$ 26,5 = ... 19,8 Raumteile
durch 2,00 Raumteile Wasserstoff . . . . 1,0 „
20,80 Raumteile

Die Gase enthielten:
in 3,58 Raumteilen Kohlendioxyd . . 3,58 Raumteile
in 19,59 „ Kohlenoxyd . . . 9,79 „
13,37 . . . . . 13,37 Raumteile
mithin zur Verbrennung von Silicium, Mangan und Eisen verbraucht . . . . 7,43 Raumteile

Im übrigen liefert die Analysenreihe die Bestätigung dafür, daß der Kohlenoxydgehalt der Gase immer mehr zu-, der Kohlen-

[1]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1871 II, Seite 247; Engineering, September 1871, Seite 167; Dinglers polytechnisches Journal, Band 202, Seite 145.

dioxydgehalt immer mehr abnimmt, je mehr die Temperatur durch Verbrennung des Siliciumgehalts im Eisen gesteigert wird.

2. Beispiel. Verarbeitung eines Einsatzes mit 4,07 v. H. Kohlenstoff, 1,89 v. H. Silicium, 4,66 v. H. Mangan auf dem schwedischen Werke Westanfors. Untersuchungen von Tamm[1]).

	Nach 3—5 Minuten	Nach 9—10 Minuten	Nach 21—23 Minuten	Nach 26—27 Minuten
Sauerstoff . .	4,76	1,69	0,96	0,55
Kohlendioxyd .	9,12	5,99	4,85	1,85
Kohlenoxyd .	0,00	17,55	19,32	14,31
Wasserstoff . .	0,00	0,91	1,12	1,70
Stickstoff . .	86,11	73,84	73,78	81,58

Der Verlauf des Frischens war in diesem Falle sehr langsam, wie die Zeiträume erkennen lassen, innerhalb derer die Proben genommen wurden. Der Umstand, daß ununterbrochen freier Sauerstoff durch das Eisenbad hindurchgeht, läßt auf eine geringe Höhe des Eisenbades in der Birne oder auf eine ungenügende Verteilung des Windes, zugleich aber auch auf ziemlich niedrige Temperatur des Metalls schließen. Im übrigen zeigt sich, wie bei der Analysenreihe von Snelus, eine stete Abnahme des Kohlendioxydgehalts, je weiter das Frischen fortschreitet. Ein Teil des eingeblasenen Sauerstoffs wird, wie die Berechnung leicht ergibt, in allen Zeitabschnitten zur Bildung nichtflüchtiger Oxyde verbraucht; am geringsten ist diese Menge während der zweiten Probenahme, am bedeutendsten während der vierten.

3. Beispiel. Verarbeitung des in Beispiel 6 auf Seite 326 III erwähnten Einsatzes mit 4,84 v. H. Kohlenstoff, 0,88 v. H. Silicium, 0,66 v. H. Mangan bei hoher Anfangstemperatur und raschem Blasen. Untersuchungen von Tamm.

	Nach 2 3/4—3 3/4 Minuten	Nach 4 1/4—5 1/4 Minuten
Sauerstoff	0,12	0,18
Kohlendioxyd	4,87	3,62
Kohlenoxyd	28,94	23,27
Wasserstoff	1,68	0,72
Stickstoff	64,39	72,21

Der Umstand, daß trotz des sehr raschen Verlaufs des Frischens (im ganzen nur 5 1/2 Minuten) der Sauerstoffgehalt unbedeutend ist, findet in der hohen Anfangstemperatur genügende Begründung.

[1]) Vergl. Literatur.

Nach etwa 3 Minuten vom Beginne des Blasens an hat die Temperatur ihren höchsten Stand erreicht. Nach $2^3/_4$ bis $3^1/_4$ Minuten beträgt nämlich die Menge des zugeführten Sauerstoffs:

durch 64,39 Raumteile Stickstoff zugeführt $\frac{64,39}{100}$ 26,5 =	17,06	Raumteile
durch 1,68 „ Wasserstoff zugeführt	0,84	„
	17,90	Raumteile

Die Gase enthalten dagegen:

freien Sauerstoff	0,12	Raumteile	
in 4,87 Raumteilen Kohlendioxyd . . .	4,87	„	
in 28,94 „ Kohlenoxyd . . .	14,47	„	
	19,46		19,46 Raumteile

Demnach ist mehr Sauerstoff in den Gasen zugegen, als durch den Gebläsewind zugeführt wurde; ein Teil des in den ersten zwei Minuten verbrannten Eisens wurde jetzt durch den Kohlenstoffgehalt wieder reduziert, nachdem durch die Verbrennung des anwesenden Siliciumgehalts die Temperatur des Eisenbades um etwa 200 Grade gesteigert worden war. Gegen Ende des Frischens, wo die zweite Gasprobe genommen wurde, ergibt die Rechnung dagegen einen niedrigeren Sauerstoffgehalt der Gase, als dem Bade zugeführt wurde; der Kohlenstoff ist seiner größten Menge nach verbrannt (das fertige Eisen enthielt nur 0,06 v. H., wie früher mitgeteilt wurde). Jetzt wird wieder Eisen verbrannt und verschlackt. In der Tat ergab die Untersuchung der Endschlacke den hohen Eisenoxydulgehalt von 33,44 v. H. neben 18,28 v. H. Manganoxydul, 45,04 v. H. Kieselsäure, 2,46 v. H. Tonerde und Kalk.

h) Die Betriebsergebnisse.

Der Brennstoffverbrauch in den Kupolöfen zum Schmelzen des Roheisens entspricht den auf Seite 320 II gemachten Angaben. Man erspart diesen Brennstoff bei Verarbeitung des Roheisens aus dem Hochofen.

Der Abbrand (Abgang) beim Windfrischen ist teils von der chemischen Zusammensetzung des Roheisens und des Erzeugnisses, teils von der Art des Verfahrens abhängig. Ein Teil des Abganges entsteht durch den mechanischen Verlust beim Herausschleudern von Eisenkörnchen während des Kochens. Ist das Verhältnis des Rauminhalts der Birne zum flüssigen Metalle knapp bemessen, so ist er größer als im andern Falle. Je größer der Gehalt des Roheisens an auszuscheidenden Fremdkörpern (Silicium, Mangan, Kohlenstoff, Phosphor) ist, desto höher muß der Abbrand ausfallen; verarbeitet man in der sauren Birne ein Roheisen mit nur 1 v. H. Silicium und 0,8 v. H. Mangan, so muß man ein günstigeres Ausbringen (geringeren Abbrand) erhalten, als bei einem Roheisen mit 2,5 v. H. Silicium und 2 oder mehr v. H. Mangan. Schmelzt man das Roheisen vor der Verarbeitung im Kupolofen, so entsteht schon hierbei ein Abgang (Seite 320 II), und der Gesamtverlust ist etwas beträchtlicher als bei der Arbeit unmittelbar aus dem Hochofen. Bläst man aber bis annähernd zur völligen

Entkohlung oder noch länger (basisches Verfahren), so wird mehr Eisen verbrannt und der Abgang ist größer, als wenn die Eigentümlichkeiten des Verfahrens eine vorzeitige Unterbrechung des Blasens ermöglichen. Bei dem sauren Verfahren beziffert sich der Abgang durchschnittlich auf 12 v. H., so daß das Ausbringen an Gußblöcken 88 v. H. des Roheisengewichts beträgt. Der Abgang steigt aber in einzelnen Fällen bis auf 16 und fällt in anderen bis auf 8 v. H.[1]). Beim basischen Verfahren ist der Abgang wegen des erforderlichen Nachblasens etwas beträchtlicher und beträgt durchschnittlich 15 v. H., also das Ausbringen an Gußblöcken 85 v. H. Bei diesen Ziffern ist der Verlust im Kupolofen inbegriffen; bei der Arbeit aus dem Hochofen ist der Abgang etwa 2 v. H. niedriger.

Über die Umstände, von welchen die Erzeugungsfähigkeit einer Bessemer- oder Thomashütte abhängt, sind bereits früher einige Mitteilungen gemacht worden. Die bedeutendsten Leistungen weisen nordamerikanische Eisenwerke auf. Die Verarbeitung von 160 Einsätzen in 24 Stunden ist dort nicht selten; einige haben es innerhalb längerer Zeiträume auf durchschnittlich 180 Einsätze in 24 Stunden gebracht. Welche ungeheure Eisenmenge selbst bei einem nur mäßigen Fassungsraume der Birnen hierbei erfolgen muß, läßt sich unschwer berechnen. Einzelne Werke erzeugen täglich mehr als 2500 t Blöcke[2]). Dennoch darf nicht außer acht gelassen werden, daß die Erzielung so großer Leistungen auf die Dauer nur dann möglich ist, wenn auch die Verwendung des erzeugten Eisens gesichert ist. Europäische Bessemer- oder Thomashütten würden, auch wenn sie mit allen Hilfsmitteln zur Darstellung so großer Mengen Eisen versehen wären, doch nur ausnahmsweise die lohnende Verwendung dafür finden können.

Die Arbeiter einer Bessemer- oder Thomashütte bestehen aus den Schmelzern an den Schmelzöfen nebst ihren Gehilfen, den Arbeitern zur Wartung der Birnen, zur Bedienung der Gießgrube (Aufstellung der Gußformen, Fortschaffen der Blöcke und der Schlacke usw.), zur Ausbesserung der Gießpfanne und Birnen u. a. m. Die Gesamtzahl der hierbei beschäftigten Leute kann nach dem Umfange des Betriebs zwischen 50 bis 300 sich bewegen[3]). Die für 1 t Blöcke gezahlten Löhne beziffern sich gewöhnlich auf 2 bis 3 Mark, können aber bei beschränktem Umfange des Betriebs auch bis auf 8 Mark steigen.

---

[1]) Bei der Kleinbessemerei, bei welcher man zur Aufrechterhaltung der erforderlichen Temperatur ein sehr siliciumreiches Roheisen verarbeitet und reichliche Eisenmengen verschlackt, kann der Verlust bis auf 20 v. H. steigen (The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, Seite 683); dagegen beträgt nach Howe bei der Verarbeitung großer Einsätze mit nur etwa 0,1 v. H. Silicium und 0,6 v. H. Mangan auf nordamerikanischen Werken der Abbrand nicht über 8 v. H. einschließlich des Verlustes beim Kupolofenschmelzen („Stahl und Eisen" 1890, Seite 1024).

[2]) Vergl. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 251; 1900, Seite 357.

[3]) Eine Aufzählung der verschiedenen Arbeiter findet der Leser in „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1306.

Der Steinkohlenverbrauch für die Heizung der Dampfkessel kann 100 bis 300 kg für 1 t erzeugten Eisens betragen, sofern die Heizung ausschließlich mit Kohlen erfolgen muß. Stehen indes Hochofengichtgase oder Koksofengase zur Verfügung, so fällt jener Verbrauch ganz oder teilweise weg.

Die Ausgabe für Erneuerung der Gußformen beträgt gewöhnlich 1 bis 2 Mark für 1 t erzeugten Eisens (10 bis 20 kg Gußeisen), die Ausgabe für Erneuerung des Birnenfutters und der Böden 1,5 bis 3 Mark. Beim basischen Verfahren beträgt der Dolomitverbrauch für 1 t Blöcke etwa 35 kg und daneben 3 kg Teer.

Aus den Ausgaben für Roheisen, Brennstoff, Löhne, feuerfeste Baustoffe, Gußformen unter Hinzurechnung der gesamten Insgemeinkosten (Seite 270 II) und beim basischen Verfahren der Kosten für den Kalkzuschlag lassen sich die Selbstkosten des Erzeugnisses zusammenstellen. Jene Insgemeinkosten erreichen gewöhnlich annähernd den gleichen bis anderthalbfachen Betrag der Löhne. Vergleicht man die Kosten des sauren Verfahrens mit denen des basischen, so ergibt sich, daß dem höheren Preise des für das erstere Verfahren erforderlichen siliciumreicheren und phosphorarmen Roheisens bei dem basischen Verfahren gegenüberstehen die Mehrkosten für Kalk und höheren Abbrand. Auch die Kosten des basischen Futters pflegen etwas höher als die des sauren zu sein. Sämtliche Kosten des Frischens einschließlich des Abbrandes und Eisenmangans, welche der Ausgabe für 1 t Roheisen hinzuzurechnen sind, um die Erzeugungskosten von 1 t Flußeisenblöcke zu erhalten, betragen in Deutschland bei der Arbeit aus dem Hochofen in der sauren Birne im Mittel etwa 18 Mark, in der basischen Birne 22 Mark, und beim Umschmelzen des Roheisens in Kupolöfen erhöhen sich die Kosten um 4 bis 6 Mark. Nicht berücksichtigt ist jedoch hierbei der Nutzen, den die sogleich zu besprechende Verwertung der Thomasschlacke gewährt. 1 t rohe Thomasschlacke mit 17 v. H. Phosphorsäure wird unter heutigen Zeitverhältnissen mit etwa 20 Mark bezahlt[1]), und für je 1 t Blöcke erfolgen im Mittel 250 kg Schlacke. Demnach ist der aus der Schlacke zu erzielende Erlös für 1 t Blöcke etwa 5 Mark, und die Rechnung ergibt, daß das Thomasverfahren selbst bei gleichen Preisen des zu verwendenden Roheisens unter sonst günstigen Umständen lohnender sein kann als das Bessemerverfahren.

i) Die Erzeugnisse.

Das Metall.

Wenn man bei Erfindung des Bessemerverfahrens das Ziel im Auge hatte, die kostspielige Tiegelstahlerzeugung entbehrlich zu machen, so hat diese Erwartung sich nicht erfüllt. Für Darstellung aller feineren Werkzeuge, welche ein hohes Maß von Härte und

---

[1]) Der Preis wird in der Regel nach dem Gehalte an sogenannter citratlöslicher Phosphorsäure vereinbart, welcher durch besonderes Verfahren ermittelt wird. Er beträgt gewöhnlich 80 bis 90 v. H. des Gesamtphosphorsäuregehalts.

Härtungsfähigkeit bei möglichst geringer Sprödigkeit besitzen sollen, ist der Tiegelstahl unersetzt geblieben, wie schon bei dessen Besprechung hervorgehoben wurde. Wohl aber findet Bessemerstahl mit einem Kohlenstoffgehalte von 0,5 v. H. und darüber für gröbere Werkzeuge, Federn und andere Gegenstände nicht selten Benutzung.

Die Menge des für diese Zwecke erzeugten Bessemer- und Thomasstahls ist jedoch unbedeutend im Vergleiche zu dem Verbrauche, welchen das weiche und mittelharte Metall mit einem Kohlenstoffgehalte von weniger als 0,1 bis zu etwa 0,35 v. H. aufweist. Hier hat sich dem Verfahren allmählich, je mehr es vervollkommnet wurde, ein Gebiet erschlossen, an welches man bei seiner Erfindung kaum dachte, und dessen jetzige Bedeutung man nicht zu ahnen vermochte. Die größte Menge aller Eisenbahnschienen wird aus Bessemer- oder Thomasmetall gefertigt, zahlreiche andere Gegenstände des Eisenbahnbaues und Eisenbahnbetriebes bestehen aus dem nämlichen Stoffe. Es ist kaum abzusehen, wie der jetzige ungeheuere Eisenbedarf für jene Zwecke ohne die Massenerzeugung des Bessemer- und Thomasverfahrens und des noch zu besprechenden Siemens-Martinverfahrens gedeckt werden könnte.

Auch für Bauwerkeisen aller Art — Träger, Bleche, Winkeleisen usw. — hat das in der Birne erblasene Metall eine umfangreiche Benutzung erlangt, freilich erst nach Überwindung mancher Schwierigkeiten, welche anfänglich aus der Unkenntnis der besonderen Eigenschaften des Flußeisens und aus fehlerhafter Behandlungsweise bei seiner Verarbeitung erwuchsen. Mächtige Brücken sind in den jüngstverflossenen Jahren aus Birnenflußeisen, insbesondere aus Thomaseisen erbaut worden[1]).

Daß die Erzeugung eines durch ein hohes Maß von Geschmeidigkeit, Leichtschmiedbarkeit und Leichtschweißbarkeit ausgezeichneten Eisens leichter durch das basische als durch das saure Verfahren möglich sei, ergibt sich aus den Eigentümlichkeiten des basischen Verfahrens. Silicium und Kohlenstoff werden rascher und vollständiger als beim sauren Verfahren abgeschieden; der Phosphorgehalt läßt sich unschwer auf ein niedrigeres Maß verringern, als gewöhnlich in dem durch das saure Verfahren gewonnenen Metalle gefunden wird. Auf den Gebieten der Verwendung des Eisens, wo in erster Reihe jene Eigenschaften in Betracht kommen, ist deshalb die Erfindung des Thomasverfahrens ganz besonders bahnbrechend gewesen. Weichen Draht, Feinbleche, für deren Herstellung man früher mitunter Frischfeuer auch in Gegenden betrieb, welche keinesfalls reich an den dafür erforderlichen Holzkohlen waren, gewöhnliches Stangeneisen aller Art für die Zwecke des Schmiedes und Schlossers fertigt man in großen Mengen aus Thomasmetall statt, wie ehedem ausschließlich, aus Schweißeisen.

Für Formgußdarstellung hat mehrfach die Kleinbessemerei Eingang gefunden. Die Erzeugungskosten sind zwar bei diesem

[1]) Näheres über diese Verwendung: „Stahl und Eisen" 1893, Seite 581 (Mehrtens).

Verfahren in der Regel etwas höher als bei dem unten besprochenen Schmelzen im Martinofen, aber es gewährt die Annehmlichkeit, daß der Betrieb dem Bedarfe entsprechend leicht eingeschränkt oder ausgedehnt und jederzeit ohne Nachteil unterbrochen werden kann, was bei dem Martinverfahren nicht der Fall ist. Für einen Gießereibetrieb von nicht erheblichem Umfange oder zur Unterstützung des Martinofens kann daher die Kleinbessemerei zweckmäßig sein.

Die Schlacken.

Die Zusammensetzung der Schlacken des sauren Verfahrens bewegt sich ihrer geschilderten Entstehungsweise gemäß etwa innerhalb folgender Grenzen:

Kieselsäure	45 bis 60 v. H.
Manganoxydul	10 bis 45 v. H.
Eisenoxydul.	35 bis 5 v. H.

Außerdem enthalten sie Tonerde, in geringeren Mengen auch Kalkerde, Magnesia, aus dem Birnenfutter und aus der vom Roheisen aus dem Hoch- oder Kupolofen mitgebrachten Schlacke stammend. Die früher (Seite 331 bis 333 III) mitgeteilten Analysen liefern einige Beispiele hierfür.

Sind die Schlacken reich an Mangan, so setzt man sie bisweilen beim Hochofenschmelzen manganarmen Beschickungen zu, um deren Mangangehalt anzureichern; im übrigen haben sie bislang keine Verwendung von Bedeutung gefunden.

Für die Schlacken des basischen Verfahrens (Thomasschlacken) dagegen bietet die Landwirtschaft eine lohnende Verwendung; sie dienen ihres hohen Phosphorsäuregehalts halber als Düngemittel. Anfänglich glaubte man, daß für diesen Zweck zunächst eine Anreicherung des Phosphorsäuregehalts und Aufschließen der Schlacken auf chemischem Wege erforderlich sei; später ergab sich, daß auch die hinreichend zerkleinerte Schlacke selbst ohne besondere chemische Behandlung den Zweck erfüllen könne[1]). Man sieht daher von einer chemischen Behandlung der Schlacke ab und unterwirft sie einer mechanischen Aufbereitung durch Mahlen und Sieben. Wichtig aber ist für die Verwendung, daß ihr Phosphorsäuregehalt möglichst hoch sei (nicht unter 14 v. H.), der Kalkzuschlag beim Frischen also nicht reichlicher, als nötig ist, bemessen werde, und daß man ein Roheisen wähle, welches nicht größere Mengen von Fremdkörpern (Silicium, Mangan) in die Schlacke führe, als dem günstigen Verlaufe des Frischens entspricht.

Von Scheibler ist zur Erlangung einer phosphorreicheren Schlacke vorgeschlagen worden, nicht den ganzen Kalkzuschlag in einem Male zu geben, sondern anfänglich nur $^2/_3$ bis $^3/_4$ davon, dann, wenn die entstandene Schlacke sich vollständig mit Phosphorsäure gesättigt hat, diese abzugießen, und nun erst den Rest des

---

[1]) Einige Mitteilungen über die Anwendung der Thomasschlacke in der Landwirtschaft findet der Leser in „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 593; 1886, Seite 59 und 688; ferner in der Schrift: August Wiesner, Thomasschlacke und natürliche Phosphate, Hartlebens Verlag, 1895.

Kalks in die Birne zu bringen [1]). Man erhält demnach hierbei zwei Schlacken von verschiedener Zusammensetzung. Die erste ist sehr phosphorreich, verhältnismäßig arm an Eisen und deshalb als Düngemittel besonders gut geeignet; die zweite ist phosphorärmer, aber eisenreicher und läßt sich aus diesem Grunde als Zusatz zu der Hochofenbeschickung mit Nutzen verwenden. Außerdem bezweckt das Verfahren eine Verringerung des erforderlichen Kalkzuschlags, da die erste Schlacke vollständig mit Phosphorsäure gesättigt wird, und eine Erniedrigung des Eisenabbrands, weil die Entfernung der letzten Anteile des Phosphors eine kürzere Zeitdauer für das Nachblasen erheischt. Das Scheiblersche Verfahren ist auf verschiedenen Werken längere oder kürzere Zeit in Anwendung gewesen, wobei sich in der Tat die erwähnten Vorteile ergaben [2]); dennoch hat man es bei den meisten Werken wieder verlassen. Die zur Verarbeitung eines Einsatzes erforderliche Zeitdauer wird bei Anwendung des Scheiblerschen Verfahrens verlängert, da das Ausgießen und die Entfernung der zuerst gebildeten Schlacke mehrere Minuten Zeit erfordert; dadurch wird die Erzeugungsfähigkeit des Werks geschmälert und das flüssige Metall der Gefahr einer oft unerwünschten Abkühlung ausgesetzt.

Zur Ergänzung der früher gegebenen Mitteilungen über die Zusammensetzung der Thomasschlacken mögen nachfolgende Beispiele der Zusammensetzung von Endschlacken dienen, welche auf verschiedenen Werken gewonnen wurden.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIIIa	VIIIb
Kieselsäure . . .	5,76	6,77	16,41	6,69	7,07	7,78	5,87	6,99	4,79
Phosphorsäure . .	19,19	16,92	11,75	17,75	22,50	21,90	20,96	24,78	16,33
Tonerde	1,48	1,68	1,58	0,95	0,89	3,72	2,71	n.best.	n.best.
Eisenoxyd . . .	2,07	0,96	10,41	5,70	5,27	1,00	4,65	—	—
Eisenoxydul . . .	12,72	10,77	10,55	10,65	6,49	4,78	14,11	11,98	26,03
Manganoxydul . .	3,43	7,16	14,91	7,71	7,81	2,05	3,84	5,40	4,62
Kalkerde	47,34	51,00	31,00	48,42	47,36	50,76	40,64	46,84	42,05
Magnesia	6,01	3,01	2,08	2,05	1,67	4,00	2,48	4,09	6,83
Vanadiumoxyd . .	1,19	—	—	—	—	—	—	—	—
{Calcium	0,51	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	0,84	0,69	0,34	0,36
{Schwefel . . .	0,41	„	„	„	„	0,67	0,55	0,27	0,29

I. Schlacke der Nord Eastern Steel Co. (The Journal of the Iron and Steel Institute 1887 I, Seite 223.)

II bis V. Schlacken von vier deutschen Eisenwerken, nach von Reis (Zeitschrift für angewandte Chemie 1892, Seite 229).

VI. Schlacke eines rheinischen Eisenwerks } im Laboratorium des Verfassers untersucht.
VII. Schlacke eines westfälischen Eisenwerks }

VIIIa. Schlacke von Hörde, mit Zweidrittel des gesamten Kalkzuschlags erzeugt und vor beendigter Entphosphorung abgegossen (Scheiblers Verfahren).

VIIIb. Endschlacke von demselben Einsatze wie VIIIa, nach Zusatz des Restes des Kalkzuschlags entstanden.

(VIIIa und VIIIb nach persönlicher Mitteilung; auch „Stahl und Eisen" 1890, Seite 940.)

---

[1]) D.R.P. Nr. 34416.

[2]) Vergl. hierüber „Stahl und Eisen" 1894, Seite 1097.

Abgesehen von der erwähnten Verwendung als Düngemittel finden die Thomasschlacken mitunter Benutzung als Zuschlag beim Hochofenbetriebe, wenn die zur Verfügung stehenden Erze nicht phosphorreich genug sind, um ein für das Thomasverfahren geeignetes Roheisen zu liefern.

8. Das Martinverfahren.

a) Einleitung.

Man versteht unter der Bezeichnung Martinverfahren die Darstellung von Flußeisen auf dem Herde eines Flammofens (englisch *open-hearth-process*). Schon in den vierziger und fünfziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurden Versuche gemacht, durch Zusammenschmelzen von Roheisen und Schmiedeeisen im Flammofen Stahl zu erzeugen; einen befriedigenden Erfolg ergaben diese Versuche erst, nachdem man durch Einführung der Siemensfeuerungen die Möglichkeit erlangt hatte, höhere Temperaturen als zuvor in Flammöfen zu erreichen. Im Jahre 1865 führten zuerst die Gebrüder Martin in Sireuil in einem von W. Siemens zu diesem Zwecke gebauten Ofen einen regelmäßigen Betrieb ein. Anfänglich betrachtete man das Martinverfahren gewissermaßen als eine Ergänzung des Bessemer- und Thomasverfahrens, dazu dienend, die im Betriebe entstehenden Abfälle und Ausschußstücke aufzuarbeiten; inzwischen aber hat es sich zu völliger Selbständigkeit entwickelt und die ständig wachsende Produktion lassen die Meinung gerechtfertigt erscheinen, daß in nicht sehr ferner Zeit der Schwerpunkt der Flußeisendarstellung in den Martinhütten zu suchen sein werde.

Die Schmelzstoffe für die Herstellung des Martineisens können, wie die für die Tiegelstahldarstellung, verschieden sein; Rücksicht jedoch muß bei ihrer Auswahl auf den Umstand genommen werden, daß das Metall stundenlang der oxydierenden Einwirkung des Gasstroms ausgesetzt ist. Es ist deshalb Regel, Roheisen als Zusatz zu verwenden, dessen Kohlenstoff-, Mangan- und Siliciumgehalt vornehmlich den Zweck zu erfüllen hat, durch eigene Verbrennung das Eisen vor der sonst unfehlbar eintretenden reichlichen Verschlackung zu schützen.

Den Hauptbestandteil des Einsatzes dagegen bildet meistens schmiedbares Eisen: Abfälle aller Art, Ausschußstücke vom Walzen, Alteisen; es gibt kaum irgend einen eisernen Gegenstand, der nicht im Martinofen sich noch verwerten ließe. Ausgeschlossen sind nur solche Eisenteile, welche schädliche, beim Schmelzen nicht austretende Körper in den Ofen führen würden (z. B. Weißbleche wegen ihres Zinngehalts).

Diese massenhafte Aufarbeitung alten schmiedbaren Eisens bildet in zahlreichen Fällen eine vorteilhafte Eigentümlichkeit des Martinverfahrens; bisweilen aber können örtliche Verhältnisse, insbesondere das Preisverhältnis zwischen dem zur Verwendung stehenden schmiedbaren Eisen und Roheisen, es auch wünschenswert erscheinen lassen, eine stärkere Verwendung des letzteren unter Abminderung des Verbrauchs an schmiedbarem Eisen ein-

treten zu lassen, ohne den Kohlenstoff-, Silicium- oder Mangangehalt des darzustellenden Flußeisens durch den größeren Roheisenzusatz zu erhöhen. Der Zweck läßt sich durch Verstärkung der Oxydationswirkung beim Schmelzen erreichen, und das einfachste Mittel hierzu ist der Zusatz von Eisenerzen zum Roheisen, deren Sauerstoffgehalt die Oxydation bewirkt, während das Eisen zum Teil reduziert und vom Metallbade aufgenommen wird. Das Martinverfahren wird in diesen Fällen zu einem Frischverfahren im eigentlichen Sinne.

In weiterer Verfolgung des Bestrebens, durch Zusatz von Erzen schmiedbares Eisen zu sparen, kann man schließlich dahin gelangen, nur Roheisen und Erze zusammen einzuschmelzen. In der Tat wird das Verfahren in dieser Weise bisweilen durchgeführt und die inzwischen erreichten Erfolge werden dazu beitragen, die sich diesem Verfahren noch entgegenstellenden Schwierigkeiten zu überwinden. Mit der Menge der zugesetzten Erze wächst die Schwierigkeit, ein haltbares Herdfutter zu erlangen, und die Herstellung eines neuen Ofenherdes ist eine kostspielige Arbeit; aus den Erzen wird, wie bei allen Verfahren der Darstellung schmiedbaren Eisens aus Erzen, nur ein Teil ihres Eisengehalts reduziert, ein anderer Teil geht in die Schlacke, und die Ausnutzung der Erze bleibt demnach unvollständig; endlich sinkt auch die Erzeugungsfähigkeit des Ofens, während der Brennstoffverbrauch und die Löhne steigen, teils, weil die chemische Einwirkung des Roheisens und der Erze aufeinander längere Zeit beansprucht, als das einfache Schmelzen, teils auch, weil die Erze und die daraus entstehende Schlacke einen gewissen Raum beanspruchen, der Einsatz also kleiner sein muß[1]). Einige Abarten des Verfahrens, welche den Zweck verfolgen, ohne diese Nachteile die Verarbeitung großer Mengen Roheisens zu ermöglichen, werden unten Erwähnung finden.

Ursprünglich fertigte man den Herd der Martinöfen nur aus kieselsäurereichem Stoffe. Eine Entphosphorung war auf solchem Herde ebensowenig möglich wie in der Bessemerbirne mit saurem Futter. Nachdem das Thomasverfahren eingeführt worden war, begann man, auch die Herde der Martinöfen mit basischen Ofenbaustoffen auszukleiden, um durch Abscheidung des Phosphors die Möglichkeit zu erlangen, auch ein minderwertiges Roh- und Alteisen zu verarbeiten. Bei der Arbeit auf saurem Herde muß die Auswahl des Alteisens mit Sorgfalt überwacht werden, damit nicht der Einsatz einen höheren Phosphorgehalt als zulässig erhalte; bei der Arbeit auf basischem Herde ist diese Sorgfalt entbehrlich und deshalb die Gelegenheit für den Bezug des Alteisens bedeutend erweitert. Dadurch werden dessen Beschaffungskosten erniedrigt. Man ist, wie beim Thomasverfahren, befähigt, den Phosphorgehalt auch phosphorreicher Einsätze auf ein sehr niedriges Maß abzumindern. Nach Einführung des basischen Verfahrens zeigten sich

[1]) Nach Sóltz sank bei Versuchen, nur mit Roheisen und Erzen zu arbeiten, die Tageserzeugung des Martinofens auf weniger als die Hälfte von derjenigen, welche der Ofen bei dem gewöhnlichen Betriebe aufwies (Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 34).

jedoch auch noch andere Vorteile. Leichter und rascher verbrennt auf basischem Herde der Kohlenstoff- und Siliciumgehalt des Einsatzes, während der Eisengehalt stärker geschützt bleibt[1]). Die Zeitdauer des Verfahrens wird abgekürzt, die Leistung des Ofens erhöht, und leichter ist es auf basischem als auf saurem Herde, ein von Fremdkörpern reines, durch Geschmeidigkeit und Schweißbarkeit ausgezeichnetes Eisen zu gewinnen.

Dieser Vorteile halber ist das basische Verfahren in der Jetztzeit weit häufiger als das saure in Benutzung. Selbst in Gegenden, wo ein allzu hoher Phosphorgehalt des Einsatzes kaum zu fürchten ist (Steiermark, Schweden), hat es das saure Verfahren mehrfach verdrängt, sofern man ein weiches, nicht sehr kohlenstoffreiches Erzeugnis gewinnen will. Öfen mit saurem Futter sind vorwiegend noch da in Anwendung, wo man wirklichen Stahl zu erzeugen beabsichtigt, oder wo das gewonnene Metall für Formgußdarstellung verwendet werden soll, obgleich heute auch für den letzteren Zweck basische Öfen mehr und mehr bevorzugt werden, und das auf basischem Herd erzeugte Material vielfach, z. B. für die Zwecke des Schiffbaues, direkt vorgeschrieben wird.

Unter der stundenlang andauernden Oxydationswirkung des Ofens nimmt auch das Martinmetall Eisenoxydul auf, welches vor dem Ausgießen durch Zusatz von Eisenmangan oder Spiegeleisen zerstört werden muß. Für die Wahl des Zusatzes und die Bemessung seiner Menge sind dieselben Umstände maßgebend wie beim Windfrischen (Seite 289 III). Für Darstellung eines kohlenstoffreicheren Erzeugnisses findet auch beim Martinschmelzen das Kohlungsverfahren (Seite 290 III) mitunter Anwendung, nachdem zuvor ein Eisenmanganzusatz gegeben worden ist.

b) Der Martinofen.

Feststehende Öfen.

Man richtet die Öfen für Einsätze von 3 bis 50 t, vereinzelt auch bis zu 75 t oder noch darüber ein, also in sehr abweichender Größe. Je größer der Ofen ist, desto niedriger sind die Löhne, die Anlage- und Unterhaltungskosten, bezogen auf die gleiche Menge erzeugten Eisens; auch der Brennstoffverbrauch für Darstellung einer bestimmten Menge Eisens ist durchschnittlich in großen Öfen geringer als in kleinen. Gehen aber die Abmessungen des Ofens über ein gewisses mittleres Maß hinaus, so wächst die Schwierigkeit, ihn gleichmäßig zu erhitzen; auch die Bedienung des Ofens wird schwieriger. Vor allen Dingen aber kommt in Betracht, daß die erforderlichen Vorrichtungen zum Gießen der größeren Metallmenge schwerfälliger und kostspieliger ausfallen, und daß die Zeitdauer des Gießens sich ausdehnt, wodurch die Gefahr entsteht, daß das Metall während des Gießens abkühle. Es ist bequemer, aus zwei Öfen Einsätze von je 20 t nacheinander zu vergießen, als aus nur einem Ofen einen Einsatz von 40 t mit einem Male. Auf

[1]) Die Ursachen dieses Vorteils des basischen Herdes sind die nämlichen, wie beim Windfrischen auf basischem Futter (Seite 320 III).

deutschen Eisenwerken sind Öfen für Einsätze von 12 bis 20 t am häufigsten. Öfen für 3 oder 4 t Einsatz kommen nur dann zur Benutzung, wenn das sämtliche erzeugte Metall für Formgußdarstellung benutzt wird, und für eine reichlichere Menge Metalls die Verwendung fehlt. Auf amerikanischen Eisenwerken sind Öfen für 50 t-Einsätze in der Neuzeit sehr üblich geworden.

Die Einführung des Martinverfahrens ist erst, wie schon erwähnt, durch Erfindung der Siemensfeuerungen möglich geworden, und sämtliche Martinöfen sind mit Siemensfeuerung oder einer Abart davon versehen[1]). Keine andere der bis jetzt erfundenen Feuerungseinrichtungen ist so befähigt, wie die Siemensfeuerung, die zur Ausführung des Verfahrens erforderliche hohe Temperatur zu entwickeln.

Die früher gegebenen Abbildungen 35 bis 38 (Seite 154, 155 I) stellen die Einrichtung eines im Jahre 1883 auf einem deutschen Eisenwerke erbauten Martinofens für 7,5 t Einsatz dar; ein Martinofen von etwas abweichender Einrichtung (liegende Wärmespeicher) ist in Abb. 41 und 42 auf Seite 159 und 160 I dargestellt, und vereinzelt hat auch die durch die Abbildungen 43 und 44 auf Seite 161 I veranschaulichte Form Benutzung gefunden. Als ein ferneres Beispiel möge der in Abb. 398 und 399 dargestellte, im Anfange der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts erbaute Martinofen eines ungarischen Eisenwerks dienen[2]). Er ist mit stehenden, in den Erdboden eingebauten Wärmespeichern versehen; auf einige Eigentümlichkeiten wird bei der Besprechung der einzelne Teile der Martinöfen hingewiesen werden.

Der Herd der Martinöfen besteht aus einer Mulde, welche von Eisenplatten getragen wird. Man verwendet Gußeisenplatten oder vernietete Bleche. Diese Herdumfassung muß frei liegen, damit die Luft Zutritt hat und eine mäßige Kühlung bewirke. Auch an den Stirnseiten liegt der Herd frei und wird durch eiserne Platten gehalten; an den Längsseiten erhält er durch die Ofenwände seine Begrenzung. Um den Zutritt der Luft zu den Herdumfassungen an den Stirnseiten und am Boden zu ermöglichen, müssen die Umfassungsplatten des Ofens mit Öffnungen versehen werden. Die gegebenen Abbildungen lassen diese Öffnungen erkennen. Wasserkühlung, wie bei Puddelöfen, zum besseren Schutze des Herdes ist mitunter versucht worden, hat sich jedoch nicht bewährt. Das Maß der eintretenden Kühlung ist zu beträchtlich; an den gekühlten Stellen bilden sich erstarrte Ansätze, und die Durchführung des Verfahrens wird erschwert.

Für die Herstellung des Herdes selbst bringt man bei dem

---

[1]) Zu diesen Abarten gehören insbesondere die Öfen mit nur zwei Wärmespeichern, welche für die Erhitzung der Luft bestimmt sind, während das Gas nicht erhitzt wird. Der Fall kommt vor, wenn statt des Luftgases ein Gas von höherer Wärmeleistung benutzt wird (Naturgas, Wassergas), oder wenn das verwendete Luftgas sehr heiß den Gaserzeuger verläßt und, ohne abgekühlt zu werden, in den Ofen eintritt (Seite 170). Diese Fälle bilden jedoch ziemlich seltene Ausnahmen; die Regel ist die Anwendung gewöhnlicher Siemensöfen mit vier Wärmespeichern.

[2]) Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Tafel I.

Martinofen für 15 t Einsatz.

1/120 der wirklichen Grösse.

Abb. 398.

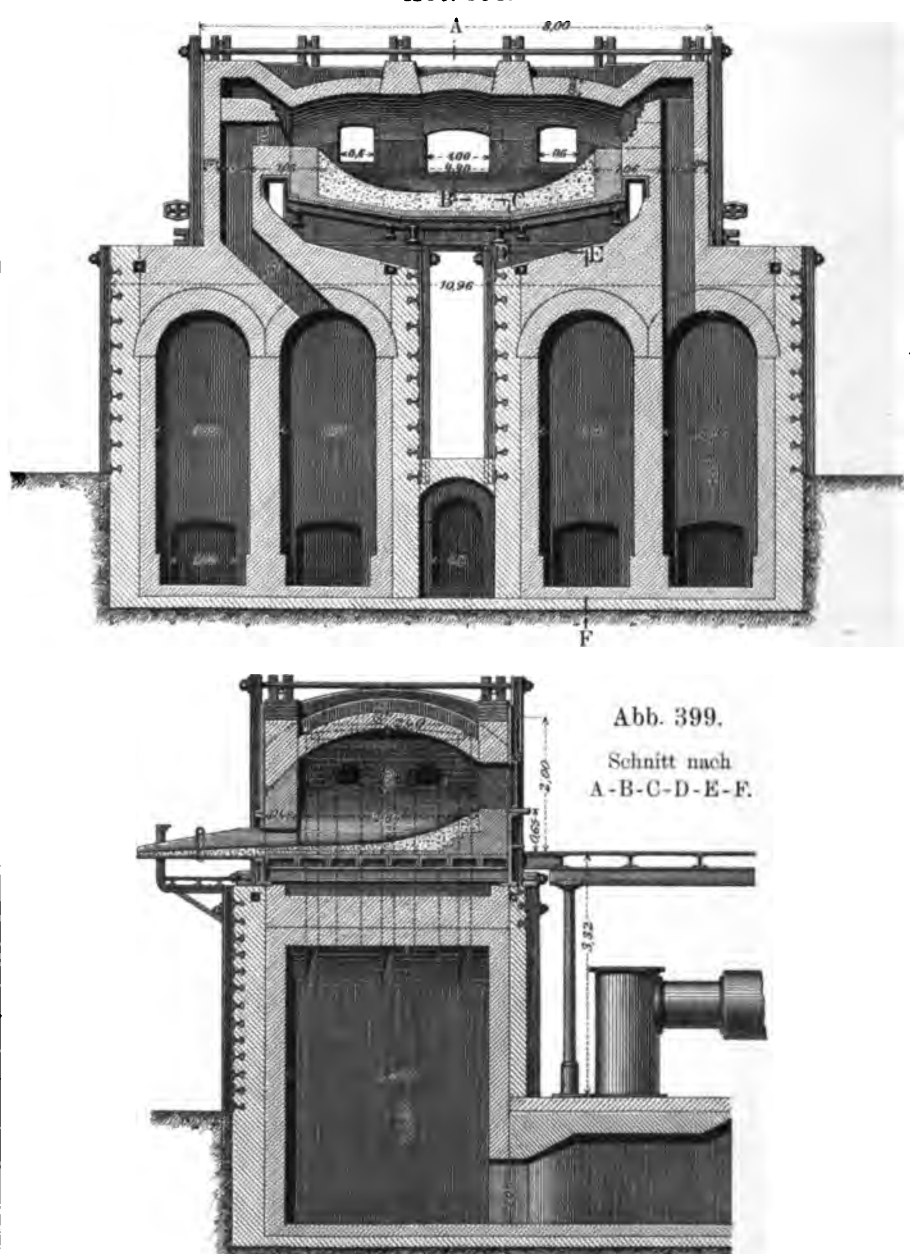


Abb. 399.
Schnitt nach
A-B-C-D-E-F.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.
Techn.-art. Anst. von Alfred Müller in Leipzig

sauren Verfahren auf die Platten gewöhnlich eine Lage von hochkantig gestellten Dinasziegeln, dann das eigentliche Herdfutter (den Boden). Bei den meisten sauren Martinöfen wird es aus Quarz hergestellt, welcher bis zu Erbsengröße gepocht und dann mit etwa 2 bis 5 v. H. feuerfestem Ton als Bindemittel vermischt wird. Beträgt die Stärke des Futters nicht mehr als 0,15 bis 0,20 m, so wird es im feuchten Zustande eingestampft, dann getrocknet und schließlich allmählich bis zur vollen Temperatur erhitzt; ist es stärker (0,5 m oder darüber), so stellt man es her, indem man zunächst eine nur etwa 20 mm hohe Lage einschüttet, diese bis zum Sintern erhitzt, dann eine zweite Lage auf die erste bringt, wiederum erhitzt usf., bis die gewünschte Dicke erreicht ist. Das letztere Verfahren ist zeitraubender als das erste, gibt aber durch die wiederholte Sinterung zuverlässigere Böden.

Herde für das basische Verfahren werden meistens aus gebranntem Dolomit oder Magnesit hergestellt (Seite 191, 196 I). Letzterer ist noch haltbarer, aber auch kostspieliger als Dolomit. Zunächst kleidet man die Herdumfassung auch hier mit Ziegeln aus, und zwar benutzt man auch bei Anwendung von Dolomitherden für diesen Zweck gern Magnesitziegel; auf diese gemauerte und zuvor mit heißem Teer bestrichene Unterlage wird die obere Schicht aus dem gebrannten und gemahlenen Stoffe aufgestampft. Bei Dolomitherden mengt man den Dolomit mit Teer wie bei Auskleidung der Thomasbirne; Magnesitherde stampft man bisweilen ohne Zusatz von Teer (Seite 197 I) und mengt zur Erleichterung des Sinterns etwas Dolomitmilch oder auch gemahlene Schlacke bei. Die Herstellung eines haltbaren Herdes für das basische Verfahren erheischt Erfahrung und führt bei den ersten Versuchen nicht selten zu Mißerfolgen [1]).

Vereinzelt hat man auch Chromeisenerz zur Herstellung des Herdes verwendet. Größere Erzstücke werden in diesem Falle auf den Boden des Herdes gebracht, und ihre Zwischenräume werden mit einem Gemische aus Erzklein mit Kalk, Dolomit oder Magnesit ausgefüllt, worauf das Ganze zum Sintern erhitzt wird.

Die Stärke des Herdes am Boden beträgt bei basischen Zustellungen 0,30 bis 0,45 m, bei sauren bisweilen 0,5 m und darüber. Herden aus Chromeisenerz gibt man selten eine größere Stärke als 0,2 m.

An der tiefsten Stelle des Herdes befindet sich das Stichloch, ausreichend groß, um Verstopfungen unmöglich zu machen (0,15 bis 0,20 m weit und hoch). Es wird während des Schmelzens durch eingerammte Masse verschlossen gehalten.

Auf dem Herde steht das flüssige Metall in einer Schicht von mindestens 0,3 m, häufiger 0,4 bis 0,5 m, bisweilen 0,6 m Höhe. Je geringer die Höhe des Metallbades ist, desto mehr Oberfläche bietet es bei gegebenem Gewichte den vorüberziehenden Gasen dar, in desto stärkerem Maße wird es oxydiert. Bei Verarbeitung von viel Roheisen hält man demnach das Bad flacher als bei

---

[1]) Einiges Nähere über Herstellung von Magnesitherden: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 853; 1890, Seite 222.

geringerem Roheisenzusatze, bei Darstellung weichen Eisens flacher als bei der Darstellung von Stahl. Für die Wärmeausnutzung ist ein flacher Herd aus naheliegenden Gründen günstiger als ein tiefer. Außer dem Metalle muß aber auch die miterfolgende Schlacke auf dem Herde genügenden Platz finden. Die Menge dieser Schlacke ist ziemlich unbedeutend bei der Arbeit auf saurem Herde ohne Erzzusatz; sie wächst mit der Menge des zugesetzten Erzes und kann beim basischen Verfahren, wo noch ein Kalkzuschlag gegeben wird, recht erheblich sein. Man macht daher in dem erstern Falle den Herd um etwa ein Achtel, bei sauren Öfen mit reichlichem Erzzusatz um ein Drittel, bei basischen Öfen um zwei Drittel größer, als für die Aufnahme des Metalls allein erforderlich sein würde. Je mehr Schlacke aber gebildet wird, welche das Metall vor der unmittelbaren Berührung der Flamme schützt, desto flacher kann die Metallschicht sein, ohne daß eine übermäßige Oxydationswirkung zu befürchten ist, und aus diesem Grunde sind die Unterschiede in der Herdtiefe bei sämtlichen Martinöfen nicht so bedeutend, als der Rücksicht auf jene Schlackenmenge an und für sich entsprechen würde. Auch bei kleinen Öfen mit saurem Futter pflegt die Herdtiefe nicht weniger als 0,45 m und bei großen Öfen für das basische Verfahren nicht über 0,75 m zu betragen.

Aus der Tiefe des Metallbades und der Größe des Einsatzes läßt sich die erforderliche Herdoberfläche berechnen. Bezeichnet man die Herdoberfläche in Quadratmetern mit f, das Einsatzgewicht in Tonnen mit e, so findet man bei den meisten Öfen annähernd folgende Beziehung:

Größe des Einsatzes (e):	7 t und darunter	8 t	10 t	12 t	15 t	30 t	50 t
f für sauren Betrieb . .	1,1 e	1,0 e	0,9 e	0,3 e	0,7 e	—	—
f für basischen Betrieb .	1,3 e	1,2 e	1,0 e	0,9 e	0,8 e	0,75 e	0,65 e

Wichtig ist ferner das Verhältnis der Herdlänge zur Herdbreite bei gegebener Herdfläche. Ist die Herdlänge zu gering bemessen, so entsteht die Gefahr, daß die Verbrennung des Gases erst in den Wärmespeichern ihr Ende erreiche und somit der Brennstoff ungünstig ausgenutzt werde. Selten gibt man auch kleinen Öfen eine geringere Herdlänge als 3,5 m, bei sehr großen geht man bis auf 9 m. Das Verhältnis $\frac{\text{Herdlänge}}{\text{Herdbreite}}$ ist demnach bei kleineren und mittelgroßen Öfen ungefähr $^2/_1$, bei großen mitunter etwas geringer; jedoch soll die Breite in keinem Falle erheblich mehr als 4 m betragen, weil sonst die Bedienung des Ofens von den an der Längsseite befindlichen Türen aus zu großen Schwierigkeiten begegnen würde. Die Form des Herdes im Grundrisse ist fast immer ein Rechteck. Elliptische Herde sind mitunter zur Anwendung gelangt (Abb. 44 auf Seite 161 I), ohne besondere Vorteile zu gewähren.

Die Seitenwände der Öfen für sauren Betrieb werden aus Dinasziegeln, der Öfen für basischen Betrieb zu unterst, soweit sie von der Schlacke berührt werden, aus Magnesitziegeln und darüber aus Dinasziegeln oder auch ganz aus Magnesitziegeln auf-

geführt. Auch Chromeisenerz hat für die unteren Lagen statt der Magnesitziegel Verwendung gefunden. Die gewölbte Decke wird in allen Fällen aus Dinasziegeln gefertigt.

Den Seitenwänden gibt man etwa 350 mm Stärke, mitunter auch darüber, die Decke dagegen wird etwas schwächer gehalten (gewöhnlich 225 bis 250 mm), um zu verhindern, daß ihr Gewicht und der dadurch erzeugte Gewölbeschub zu beträchtlich ausfalle, auch wohl zur Vermeidung einer allzu starken Erhitzung. Mitunter findet man jedoch Decken von 300 mm Stärke oder noch etwas mehr.

In den Seitenwänden sind mehrere, mit senkrecht aufgehenden Schiebetüren versehene Öffnungen angebracht, zum Einsetzen, Arbeiten (Aufbrechen, Rühren) und zur Vornahme der erforderlichen Ausbesserungen des Herdes nach jeder Hitze bestimmt. Ihre Zahl und ihre Lage ist verschieden. Die Einsatztüren befinden sich meistens an der dem Stichloche gegenüberliegenden Seite. Bei kleinen Öfen genügt eine einzige Tür in der Mitte der Längswand sowohl zum Einsetzen als zur Vornahme der übrigen erwähnten Arbeiten; bei größeren Öfen bringt man neben dieser Einsatztür rechts und links je eine kleinere Tür an, durch welche auch die Enden des Herdes leicht zugänglich werden (Abb. 398); oder man gibt zwei Einsatztüren an den Enden und eine kleinere Arbeitstür in der Mitte. An der Seite, wo das Stichloch sich befindet, werden mitunter ebenfalls Türen an beiden Seiten des Stichloches angebracht, zur Vornahme von Ausbesserungen dienend; aber je größer die Zahl der Türen ist, desto stärker ist die dadurch bewirkte Abkühlung. Die Einsatztüren erhalten 700 bis 1000 mm, die übrigen Türen etwa 500 mm Breite. Die Türen sind wie die der Puddelöfen mit feuerfesten Ziegeln ausgesetzt und werden durch Hebel und Kette zwischen Führungsleisten emporgezogen; die Türen sehr großer Öfen versieht man bisweilen mit Wasserkühlung, und man zieht sie mit Hilfe je eines über dem Ofen angeordneten Wasserdruckzylinders oder einer Winde empor.

Die gewölbte Decke führt man entweder geradlinig von der einen Stirnseite des Ofens zur andern hinüber oder man läßt sie, wie bei dem Ofen (Abb. 41 auf Seite 159 I), nach der Mitte zu etwas ansteigen. Die Höhe der Decke über der Oberfläche des Herdes in der Mitte des Ofens beträgt bei neueren Öfen für 5 bis 10 t Einsatz 1,2 bis 1,4 m, für größere Öfen 1,6 bis 2,0 m, so daß zwischen der Oberfläche des Bades und der Decke ein freier Raum von 0,8 bis 1,0 m Höhe bleibt.

Die Stirnseiten oder Köpfe der Öfen enthalten die Kanäle für Gas und Luft, den auf Seite 166 I gegebenen Erläuterungen gemäß angeordnet. Ihr Querschnitt sollte von der Größe des Ofens und von der Beschaffenheit des zum Heizen dienenden Gases abhängig sein. Verwendet man Braunkohlengas, dessen Wassergehalt nicht verdichtet wurde, so gebraucht man zum Schmelzen derselben Eisenmenge eine größere Raummenge Gas als bei Benutzung eines wasserarmen Steinkohlengases. In größeren Öfen ist die Brennstoffausnutzung günstiger als in kleinen, d. h. man gebraucht weniger Gas zum Schmelzen der gleichen Eisenmenge als in kleinen Öfen; daher kann das Verhältnis zwischen jenem Querschnitte der Gas-

und Luftkanäle zum Ofeninhalte bei großen Öfen etwas knapper als bei kleinen bemessen werden. In Wirklichkeit findet man jedoch diesen Umständen wenig Rechnung getragen, und wenn man den Gesamtquerschnitt der Eintrittsöffnungen auf je einer Seite des Ofens, bezogen auf 1 t des Einsatzes, ermittelt, so findet man hierfür Werte zwischen 330 bis mehr als 1000 qcm, also sehr erhebliche Unterschiede. Ein zu reichlich bemessener Querschnitt ist jedenfalls weniger nachteilig als ein zu eng bemessener, welcher die Bewegung der gasförmigen Körper vor ihrem Eintritte in den Verbrennungsraum und nach dem Verlassen des Herdes erschwert

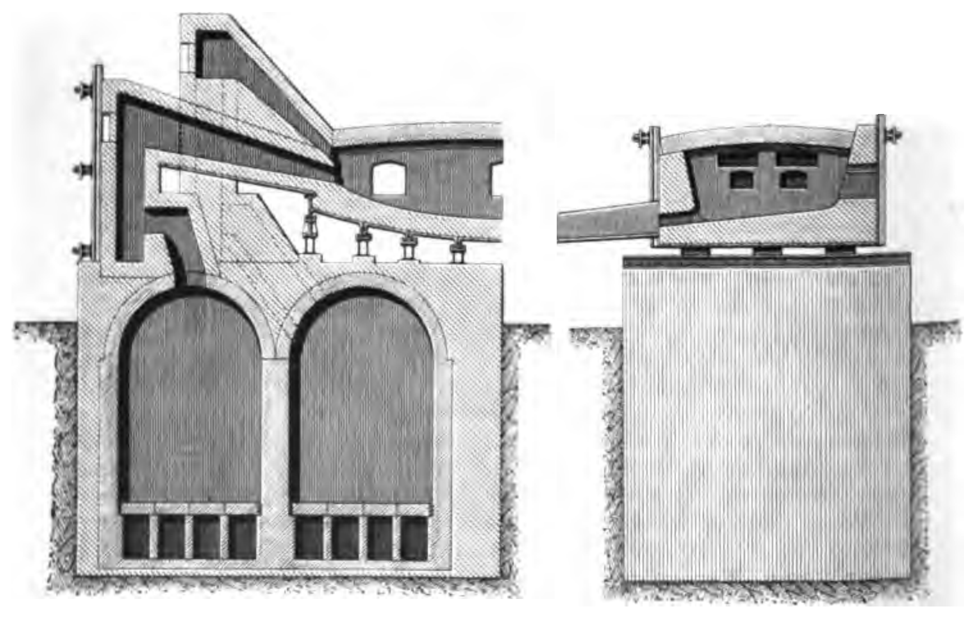


Abb. 400. Abb. 401.

und die Gefahr einer eintretenden Versetzung nahelegt. Die Kanäle selbst macht man daher gern reichlich weit und verengt sie, wenn es erforderlich ist, erst an ihrer Mündung, so daß der Ausflußquerschnitt sämtlicher an einer Seite befindlicher Kanäle 300 bis 500 qcm für je eine Tonne Einsatz beträgt.

Auch das Verhältnis des Querschnitts der Luftöffnungen zu den Gasöffnungen ist nicht immer gleich. Zur Verbrennung eines Luftgases mit nicht sehr reichem Wassergehalte gebraucht man annähernd die gleiche Luft- als Gasmenge; ist das Gas dagegen verhältnismäßig arm an brennbaren Bestandteilen, so ist die Luftmenge geringer. Werden aber die Gaserzeuger mit Gebläse betrieben, so daß in den Gaskanälen Überdruck herrscht, während die Luft angesaugt werden muß, so würde bei zu eng bemessenem Querschnitte der Luftöffnungen leicht Gefahr entstehen, daß die Verbrennung unvollständig bleibt, während ein übermäßiger Luftzutritt sich durch Verengung der Zulaßöffnung unschwer vermeiden läßt. Man gibt daher den Luftkanälen und Lufteintrittsöffnungen

meistens einen etwas reichlicheren Querschnitt als den Gaskanälen und Gasöffnungen, ungefähr nach dem Verhältnisse 4:3 bis 6:5; bei Öfen für Braunkohlengas, in Gaserzeugern ohne Gebläse erzeugt, sind sie mitunter gleich; in seltenen Fällen sind die Luftkanäle enger als die Gaskanäle.

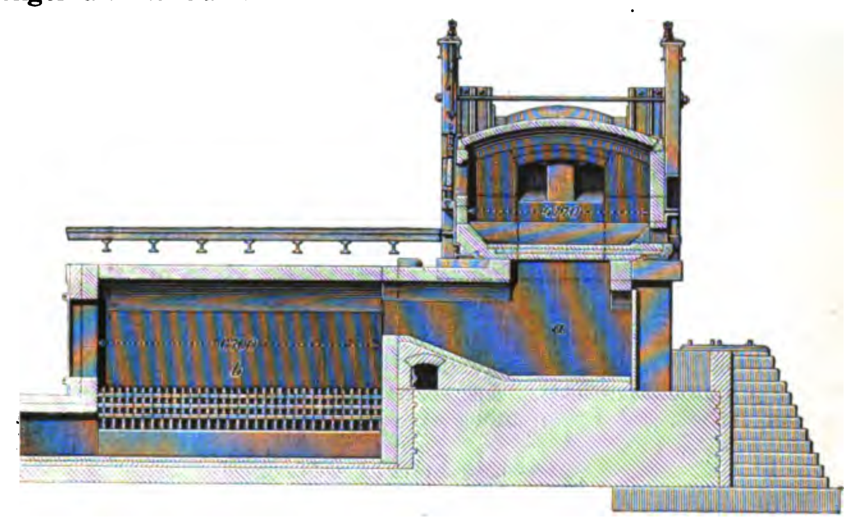


Abb. 402.

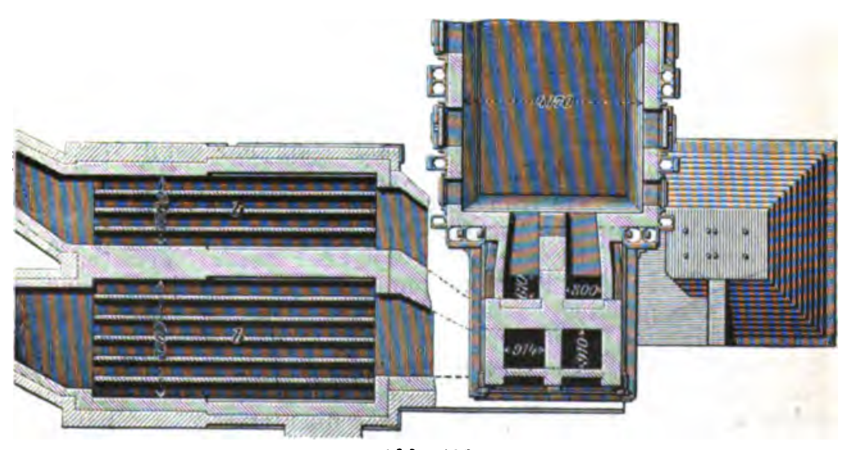


Abb. 403.

Den Ein- und Austrittskanälen gibt man bei neueren Öfen eine ziemlich starke Neigung nach dem Herde zu, um die Berührung des Einsatzes durch die Flamme zu begünstigen. Besonders den Luftkanal läßt man gern steil (unter einem Winkel von etwa 45 Graden) abfallen, wodurch dann mitunter ein Aufbau für die Anordnung des Kanals, wie in Abb. 400 und 401 erforderlich wird. Die Länge dieser Kanäle, bevor sie in den Ofen münden, wird gewöhnlich etwas reichlicher bemessen als bei dem Ofen Abb. 398.

Die Wärmespeicher werden gemäß den früher gegebenen Regeln (Seite 157 I) gebaut[1]. Um die Ablagerung von Staub in den Wärmespeichern einzuschränken, schaltet man bei neueren Öfen nicht selten Staubfänge zwischen Ofen und Wärmespeicher ein. Bei dem Ofen Abb. 400 dient der unterste Teil des senkrechten Gaskanals als Staubfang; stärker ausgebildet sind die Staubfänge des in Abb. 402 und 403 dargestellten amerikanischen Martinofens für 50 t Einsatz[2]. Hier wird jeder Staubfang durch eine Kammer *a* gebildet, in welche die senkrecht abwärts führenden Kanäle münden; um aber für diese Kammern Platz zu gewinnen, mußten die Wärmespeicher *bb* seitlich angeordnet werden. Die Herdlänge des abgebildeten Ofens beträgt 8,10 m.

Die Zeitdauer der Schmelzreise eines Martinofens hängt vornehmlich von der Haltbarkeit des Herdes und der Decke ab. Sind jene Teile sachgemäß hergestellt, so halten sie 500 bis 600 Einsätze aus, bisweilen 1000 Einsätze und darüber. Bei Darstellung kohlenstoffarmen Eisens werden die Öfen wegen der erforderlichen höheren Temperatur stärker angegriffen als bei Herstellung von Stahl; bei reichlichem Erzzusatze leidet der Herd stärker als bei geringem oder gar keinem Zusatze. Magnesitherde haben sich besonders gut bei der Arbeit mit Erzen bewährt.

Dreh- und Schaukelöfen.

Während die Öfen mit beweglichem Herde beim Puddelverfahren, für welches sie ursprünglich erfunden wurden, sich wenig bewährten (Seite 197 III) und fast gänzlich außer Anwendung gekommen sind, haben sie beim Martinverfahren, für welches sie erst später in Benutzung genommen wurden, eine zwar nicht umfängliche, aber doch bleibende Verwendung gefunden. Der Betrieb eines solchen Ofens, dessen Anlage- und Unterhaltungskosten weit erheblicher sind als die eines feststehenden, kann eben nur dann vorteilhaft sein, wenn große Einsätze verarbeitet werden. Beim Puddelverfahren läßt sich, wie früher erläutert wurde, die Größe der Einsätze nicht über ein beschränktes Maß hinaus ohne Schädigung der Beschaffenheit des Erzeugnisses steigern; beim Martinverfahren bleibt die Größe der Einsätze ohne Belang für die Beschaffenheit des Erzeugnisses, sofern man imstande ist, die Bestandteile der Einsätze gleichartig zu mischen. Hierfür ist ein Ofen mit beweglichem Herde besonders gut geeignet. Während bei einem feststehenden Ofen die Schwierigkeit der Bedienung wächst, wenn die Größe des Einsatzes über etwa 25 t hinausgeht, ist dieses bei einem Ofen mit beweglichem Herde nicht oder doch nicht in gleichem Maße der Fall. Daher hat man neuerdings Öfen dieser Art mit einem Fassungsraume bis zu 100 t gebaut[3].

Bis jetzt haben Martinöfen mit beweglichem Herde fast nur in Nordamerika Anwendung gefunden.

[1] Über eine besondere Anordnung der Wärmespeicher zu dem Zwecke, den Köpfen der Öfen eine größere Haltbarkeit zu verleihen (Schönwalders Patent) vergl. „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 989.

[2] „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 714.

[3] „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 311.

In einzelnen Fällen hat man sich früher des Pernotofens (Seite 177 I) für diesen Zweck bedient, welcher jedoch sich nicht als besonders geeignet erwies. Seine Haltbarkeit war ziemlich beschränkt und beim Durchbrennen des Herdes wurde auch die Bewegungsvorrichtung leicht beschädigt[1]).

Bessern Erfolg hatte der auf Seite 178 I abgebildete Campbellofen, welcher vor den feststehenden Öfen den Vorteil gewährt, daß die Stichöffnung für das Metall während des Schmelzens freiliegt und nicht durch erstarrtes Metall versetzt werden kann, während die Entleerung des Ofens durch Kippen erfolgt. Sechs solcher Öfen von je 50 t Fassungsraum sind auf dem Werke der Pennsylvania Steel Co. in Steelton in Benutzung[2]).

Ähnliche, ebenfalls zum Kippen eingerichtete Öfen wurden von Wellmann auf den South Chicago Works, den Werken der Alabama Steel & Shipbuilding Co. in Ensley sowie auf einigen Werken in Pennsylvanien und Wisconsin erbaut. Ihre Anordnung ist nicht überall gleich. Einige haben einen walzenförmigen Herd, welcher auf einer ebenen Bahn zur Seite gerollt werden kann, wobei die Abstichöffnung unter das Metall kommt und die Gas- und Luftöffnungen freigelegt werden; die neueren Öfen dagegen sind Schaukelöfen wie diejenigen Campbells[3]).

Auch ein von Talbot auf amerikanischen Werken erbauter und für eine besondere, unten besprochene Form des Martinverfahrens bestimmter Kippofen ist dem Campbellofen ähnlich[4]).

c) Die Einrichtung der Martinhütten.

In der Anordnung der Hauptbestandteile einer Martinhütte herrscht gewöhnlich ziemlich gute Übereinstimmung. Die Öfen müssen so hoch über dem Fußboden der Hütte stehen, daß das aus dem Stichloche strömende Metall von der darunter gestellten Gießpfanne aufgenommen werden kann; demnach muß der Höhenabstand zwischen Fußboden und Stichloch 2,0 bis 3,5 m betragen. Noch höher aber als das Stichloch liegen die an der entgegengesetzten Seite des Ofens befindlichen Einsatz- und Arbeitsöffnungen, und um sie bequem zugänglich zu machen, muß hier eine Bühne angebracht werden, groß genug, um auch zur Lagerung der Schmelzstoffe für mehrere Einsätze dienen zu können. Sie kann aus Trägern mit Eisenblechbelag oder aus unterwölbtem Mauerwerk errichtet werden. Man stellt nun fast stets die sämtlichen erforderlichen Martinöfen in gerader Reihe nebeneinander auf, so daß an ihrer Rückseite die gemeinschaftliche Bühne sich befindet, während an der Vorderseite die zur Aufnahme des aus dem Stichloche kommenden, fertig geschmolzenen Metalls bestimmte Gießpfanne parallel zur Ofenreihe bewegt wird. Für die Bewegung dient ein Gießwagen (Abb. 364, 365 auf Seite 251 III) mit Dampf-, Hand- oder

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1887, Seite 191; 1891, Seite 97; 1893, Seite 870.

[2]) „Stahl und Eisen" 1899, Seite 537; 1902, Seite 713.

[3]) „Stahl und Eisen" 1895, Seite 799; 1899 Seite 537; 1901, Seite 1173; 1902, Tafel XIV.

[4]) Abbildung des Talbotofens: „Stahl und Eisen" 1902, Seite 717.

elektrischem Antrieb oder ein Deckenlaufkran, wie in Abb. 404 dargestellt ist[1]). Letzterer hat zwar den Nachteil, daß die Gießpfanne in Ketten oder Seilen hängt, durch deren Reißen Unglücksfälle veranlaßt werden können, aber er macht die Aufstellung besonderer Blockkrane für die Bewegung der Gußformen und gegossenen Blöcke entbehrlich[2]). Der Antrieb dieser Deckenlaufkrane wird bei neueren Anlagen in der Regel durch elektrischen Strom bewirkt. Ein zweiter Laufkran dient bei der abgebildeten Anlage zur Bedienung der Arbeitsbühne. Unterhalb der letztern befinden sich die Umschaltvorrichtungen für Gas und Luft. Das in der linken Hälfte des Gebäudes sichtbare Schienengleis ist für die Wagen bestimmt, welche die Gußformen und Blöcke aufnehmen. Das abgebildete Gebäude ist 107 m lang und für die Aufstellung von 20 Martinöfen eingerichtet.

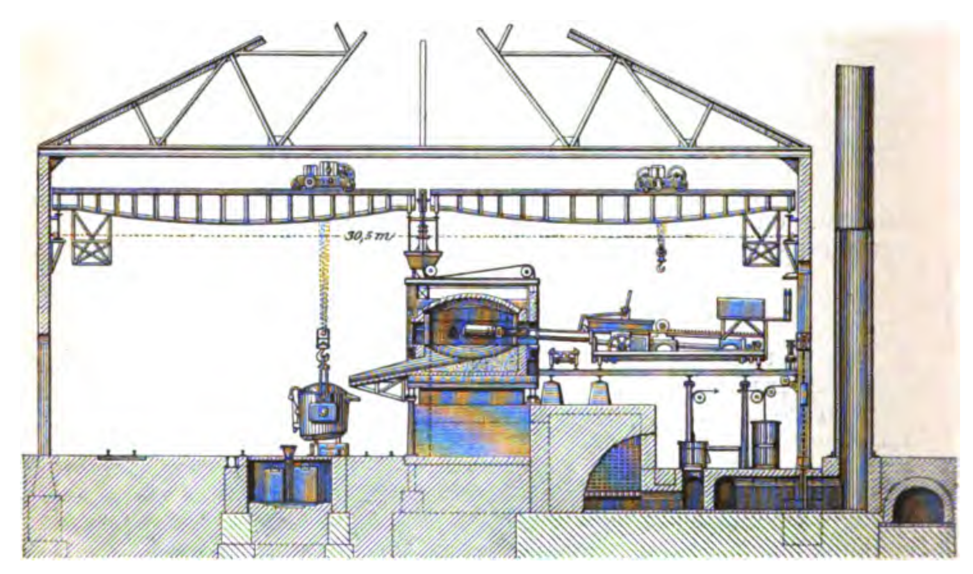


Abb. 404.

Die Gußformen erhalten ihren Platz in einer vor den Öfen befindlichen langgestreckten Gießgrube (wie in der abgebildeten Anlage), oder man stellt sie, wie neuerdings auch in Bessemer- und Thomashütten, auf Wagen, um sie an entfernter Stelle entleeren zu können. Das Gießen erfolgt auch in letzterem Falle stets aus der Gießpfanne, niemals unmittelbar aus dem Ofen, wie es in früheren Jahrzehnten üblich war[3]).

Kreisförmige Gießgruben mit Drehkran (Abb. 362 auf S. 248 III) sind in den neuen Martinhütten selten. Da nicht mehr als zwei

---

[1]) Martinhütte der Illinois Steel Company; nach Iron Age vom 25. Juli 1895.

[2]) Abbildung eines Deckenlaufkrans ohne Seil oder Kette: „Stahl und Eisen" 1902, Seite 716.

[3]) Vergl. Seite 252 III.

Öfen neben einer solchen Grube aufgestellt werden können und die Grube selbst eine bedeutende Grundfläche beansprucht, wird die ganze Anordnung schwerfällig.

Die Gaserzeuger liegen stets außerhalb in einem besonderen Gebäude; in Abb. 404 gewahrt man rechts den Gaskanal, welcher den Öfen das Gas zuführt.

d) Das Arbeitsverfahren.

Die Arbeit beginnt mit dem Einsetzen des Metalls in den in voller Temperatur befindlichen Ofen; bei der Arbeit auf basischem Herde bringt man schon vor dem Eisen den erforderlichen Kalkzuschlag in den Ofen. Man benutzt entweder, wie beim Thomasverfahren, gebrannten Kalk oder auch rohen Kalkstein, welcher billiger ist und in der hohen Temperatur des Martinofens rasch zersetzt wird. Die Menge des Zusatzes muß sich vornehmlich nach dem Phosphor- und Siliciumgehalte des einzusetzenden Eisens richten und schwankt bei Verwendung rohen Kalksteins gewöhnlich zwischen 6 bis 12 v. H. des Einsatzgewichts. Ein übermäßig hoch bemessener Kalkzuschlag würde die Entstehung einer strengflüssigen, steifen Schlacke bewirken und muß aus diesem Grunde vermieden werden.

Gibt man reichlichen Erzzusatz, um größere Roheisenmengen verarbeiten zu können, so pflegt man den größten Teil des Erzes ebenfalls schon mit dem Metalle in den Ofen zu bringen, den Rest aber nach und nach dem schon geschmolzenen Metalle zuzusetzen. Um die Menge der entstehenden Schlacke nicht unnötig zu vermehren, verwendet man tunlichst reiche Erze, Magnet- oder Roteisenerze. Ein Schwefelgehalt der Erze kann durch Übergang an das Eisen nachteilig werden; ein hoher Phosphorgehalt kann zwar unmittelbar nur beim sauren Verfahren Schaden bringen, ist aber auch beim basischen Verfahren nicht erwünscht, da mit dem Phosphorgehalte auch die Menge des zuzusetzenden Kalks zunehmen muß, damit die beabsichtigte Entphosphorung des Metalls möglich sei. Die Höhe des Erzzusatzes beträgt bei dem gewöhnlichen Verfahren selten mehr als 20 v. H. des Eisengewichts, meistens weniger; häufig begnügt man sich, nach beendigtem Einschmelzen die Entkohlung durch Einwerfen kleiner Erzmengen zu beschleunigen, und der Verbrauch an Erz beträgt dann nicht mehr als 2 bis 4 v. H. des Eisengewichts. Für den letzteren Zweck findet auch Hammerschlag oder Walzsinter Verwendung. Auf einigen Werken formt man aus gemahlenem Hammerschlag mit Zusatz von etwas gelöschtem Kalk Ziegel, welche in Stücke zerteilt und dann nach Bedarf dem Metallbade zugesetzt werden.

Sehr verschieden ist das Verhältnis des eingesetzten Roheisens zum schmiedbaren Eisen. Die Preise dieser Eisengattungen geben hierfür den Ausschlag. Während in manchen Fällen jenes Verhältnis nicht höher ist als 1 : 19, also nur ein Zwanzigstel des Einsatzes aus Roheisen besteht, hat man in anderen Fällen — allerdings bei dem gewöhnlichen Verfahren nur vereinzelt, wie bereits erwähnt wurde — dem Zusatze von schmiedbarem Eisen

ganz entsagt und nur Roheisen mit Erzzusatz geschmolzen. Der Nachteile dieses Verfahrens (geringe Erzeugung, hoher Brennstoffaufwand und rasche Abnutzung des Ofens) wurde schon oben gedacht. In den meisten Fällen enthält der Einsatz 20 bis 40 Teile Roheisens neben 80 bis 60 Teilen schmiedbaren Eisens Bei allzu niedrigem Roheisenzusatze steigt der Eisenverlust durch Verbrennen, und das Metall wird leichter rotbrüchig. Als ein für den günstigen Verlauf der Arbeit gut bewährtes Verhältnis gilt etwa 1 Teil Roheisen auf 2 Teile schmiedbaren Eisens [1]).

Von Bedeutung ist selbstverständlich die chemische Zusammensetzung des Roheisens. Ein Siliciumgehalt verzögert zwar die Entkohlung, aber die Verbrennung des Siliciums bewirkt ein heißes Einschmelzen (Seite 286 III) und erleichtert hierdurch das Verfahren. Gewöhnlich benutzt man ein Roheisen mit 0,75 bis 1,5 v. H. Silicium; auf basischem Herde würde die Verwendung eines sehr siliciumreichen Roheisens die Gefahr einer rascheren Zerstörung des Herdes nahelegen.

Ein Mangangehalt verzögert zwar ebenfalls die Entkohlung, ist aber in mehrfacher Hinsicht nützlich. Er verhindert, solange er noch im Eisen anwesend ist, die Aufnahme von Eisenoxydul, also die Entstehung von Rotbruch, und das entstehende Manganoxydul befördert sowohl im sauren als im basischen Ofen die Bildung einer ausreichend dünnflüssigen Schlacke. Besonders förderlich ist ein einigermaßen hoher Mangangehalt des Roheisens bei der Stahlerzeugung, wo es mehr noch, als bei der Darstellung weichen Eisens, darauf ankommt, die Aufnahme von Eisenoxydul zu hindern, und wo ohnehin eine allzu beträchtliche Entkohlung vermieden werden soll. Man pflegt Roheisen mit 1 bis 4 v. H. Mangan zu verwenden. Fehlt es dem eigentlichen Roheisen an Mangan, so setzt man wohl Spiegeleisen zu. Im übrigen kommt bei der Auswahl des Roheisens auch dessen Gewichtsverhältnis zum schmiedbaren Eisen in Betracht. Je weniger Roheisen man zusetzt, desto höher muß unter übrigens gleichen Verhältnissen sein Silicium- und Mangangehalt sein. Ermittelt man den durchschnittlichen Gehalt des ganzen Einsatzes, so findet man gewöhnlich einen Siliciumgehalt von 0,4 bis 0,8, einen Mangangehalt von 0,8 bis 1,4 v. H., daneben 1,0 bis 1,6 v. H. Kohlenstoff.

Der Phosphorgehalt des Roheisens für das saure Verfahren sollte niemals mehr als 0,1 v. H. betragen, zumal wenn auch phosphorhaltiges Alteisen (z. B. Schweißeisen) verarbeitet wird. Für das basische Verfahren würde sich zwar ein Roheisen mit beliebig hohem Phosphorgehalte benutzen lassen, sofern der Kalkzusatz reichlich genug bemessen und das Schmelzen ausreichend lange fortgesetzt wird; in Rücksicht auf die Nachteile jedoch, welche eine durch den höheren Phosphorgehalt veranlaßte Ver-

[1]) Beispiele der Einsätze auf verschiedenen Werken findet man in zahlreichen Abhandlungen mitgeteilt; z. B. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 249; 1889, Seite 399; 1898, Seite 476; Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 32.

zögerung des Schmelzens mit sich bringt, zieht man es auch hier in der Regel vor, ein phosphorarmes Roheisen zu verwenden.

Der Schwefelgehalt des Roheisens muß sowohl beim sauren als beim basischen Verfahren tunlichst niedrig sein (unter 0,1 v. H.), da eine Schwefelabscheidung bei dem sauren Verfahren fast gar nicht, bei dem basischen Verfahren nur in beschränktem Maße stattfinden kann. Ebenso muß der Gehalt des Roheisens an Kupfer, Arsen, Antimon sich innerhalb der beim schmiedbaren Eisen zulässigen Grenzen halten, da im Martinofen so wenig wie bei anderen Frischverfahren eine Abscheidung dieser Körper stattfindet.

Beim sauren Verfahren in kleinen Öfen setzt man zunächst nur das Roheisen ein und fügt erst, wenn dieses geschmolzen ist, das schmiedbare Eisen nach und nach zu, so daß es sich in dem bereits geschmolzenen Metalle löst. Man beabsichtigt dadurch eine Abkühlung des Ofens zu vermeiden und das schmiedbare Eisen vor starker Verbrennung zu schützen, welche eintreten würde, wenn es lange Zeit im ungeschmolzenen Zustande der Berührung der Flamme preisgegeben wäre. Bei größeren Öfen dagegen, zumal beim basischen Verfahren, setzt man fast immer zur Abkürzung des Schmelzens schon mit dem Roheisen einen Teil des schmiedbaren Eisens, bisweilen auch alles schmiedbare Eisen, ein. Die Gefahr einer Verschlackung des Eisens ist im basischen Ofen geringer als im sauren.

Das Einsetzen erfolgt durch Handarbeit oder, zumal bei großen Öfen, mit Maschinen. Bei der Handarbeit bedient man sich einer breiten Schaufel, welche auf die Schwelle der Einsatztür gebracht, dann beladen und durch den Schmelzer in den Ofen geschoben wird, um hier an geeigneter Stelle entleert zu werden. Ein Schmelzer mit zwei Gehilfen vermag auf diese Weise in vier bis fünf Minuten 1 t Eisen in größeren Stücken (Roheisen) einzubringen; kleinere Stücke werden ohne weiteres eingeworfen. Je größer aber der Einsatz ist, desto mehr Zeit ist für das Einbringen durch Handarbeit erforderlich, desto mehr wird der Ofen hierbei abgekühlt, desto vorteilhafter ist die Benutzung einer Beschickungsmaschine, welche in kürzerer Zeit die Arbeit ausführt und hierdurch auch die Verkürzung der Schmelzzeit ermöglicht. Daher hat die Zahl solcher Maschinen mehr und mehr zugenommen, je mehr man die Öfen über das anfangs übliche Maß hinaus vergrößerte. Besondere Verdienste hinsichtlich der Einführung und Vervollkommnung dieser Maschinen gebühren dem Amerikaner Wellmann, dessen Maschinen auch als Vorbilder für die meisten der in Europa gebauten Maschinen gedient haben. Bei allen diesen mechanischen Beschickungsvorrichtungen wird der zu gebende Einsatz zuvor in oben offene Eisenblechkästen von etwa 1000 kg Fassungsraum gebracht und dann, wenn das Einsetzen stattfinden soll, auf Wagen bis an die Türschwelle gefahren. Eine in wagerechter Richtung bewegliche Stange, welche auch in senkrechter Richtung etwas verstellbar ist, wird nun an der Rückseite des einzubringenden Kastens mittelst einer leicht lösbaren Kuppelung befestigt, etwas angehoben, mit dem Kasten in den Ofen geschoben und um ihre Achse so weit

gedreht, daß Entleerung des Kastens stattfindet, worauf man die Stange nebst dem Kasten zurückzieht, um erforderlichenfalls dieselbe Arbeit mit einem zweiten Kasten zu wiederholen. Die Bewegung geschah anfänglich durch Wasserdruck[1]; jetzt benutzt man dafür meistens elektrischen Antrieb. Der in Abb. 404 auf S. 354 III dargestellte Martinofen ist mit einer solchen Beschickungsvorrichtung versehen. Sie befindet sich auf einem Wagen, welcher auf Schienen von einem Ofen zum andern gefahren werden kann, und ist in der Stellung gezeichnet, in welcher der den Einsatz enthaltende Blechkasten in den Ofen vorgeschoben ist, um durch Drehen der Stange entleert zu werden. Zwischen dem Beschickungswagen und dem Ofen gewahrt man den kleineren Wagen, auf welchem der mit dem Einsatze gefüllte Blechkasten herzugefahren wurde. In größerem Maßstabe zeigt die Abb. 405 eine ähnliche, von der Aktiengesellschaft Lauchhammer für ein norddeutsches Eisenwerk gebaute Maschine. Man gewahrt links die Öfen, davor einen mit einem der Füllkästen beladenen, zum Zubringen dienenden Wagen; im Hintergrunde steht die Maschine, zum Einsetzen fertig. Die Stromzuführung geschieht wie bei elektrischen Straßenbahnen durch Vermittelung von Berührungsrollen, welche sich an zwei über der Maschine befindliche Leitungen legen. Vier auf dem Wagen angeordnete Elektromotoren erzeugen die Bewegungen und pflanzen sie durch Vermittelung von Getrieben auf die einzelnen Teile der Maschine fort. Der eine davon dient zur Fortbewegung des Wagens von einem Ofen zum andern; ein zweiter zum Anheben der Stange, an deren Kopfende der mit dem Einsatze beladene Blechkasten durch eine einfache Vorrichtung zuvor befestigt worden ist, in die zum Einbringen in den Ofen geeignete Höhenlage durch Vermittelung zweier Kurbeln; ein dritter schiebt die Stange in den Ofen vor, und der vierte bewirkt die Entleerung des Kastens durch Drehung der Stange um ihre Achse[2]. Der Verbrauch an mechanischer Arbeit beträgt 5 bis 10 Pferdestärken für jede der einzelnen Bewegungen. Mit Hilfe einer Maschine läßt sich ein 15 t-Ofen in etwa 15 Minuten, ein 40 t-Ofen in 50 bis 60 Minuten beschicken; bei Handarbeit ist die vierfache Zeit dafür erforderlich. Um jedoch den Raum vor den Öfen nicht durch diesen Beschickungswagen in Anspruch nehmen zu müssen, zieht man heute die Konstruktion in Form eines Laufkrans vor, wobei der Krankörper auf zwei Hochbahnen über den Öfen läuft. Gibt man einem solchen Beschickungskran neben der eigentlichen Beschickungsvorrichtung noch eine Laufkatze, welche auf dem den Öfen zugekehrten Kranende läuft, so ist diese bei den Montagearbeiten eines neuen oder in Reparatur befindlichen Ofens von größtem Nutzen.

Während des Schmelzens hat der Schmelzer darüber zu wachen, daß keine Ansätze ungeschmolzener Massen sich bilden; wichtig

---

[1]) Abbildung einer solchen Beschickungsvorrichtung: „Stahl und Eisen" 1897, Seite 709.

[2]) Über die Einzelheiten der Einrichtung geben die unter Literatur genannten Abhandlungen Aufschluß.

Abb. 405.

Verlag von Arthur Felix in Leipzig.

Graphisches Institut Julius Klinkhardt, Leipzig.

ist auch die Regelung des Gas- und Luftstromes. Je weiter die Entkohlung fortschreitet, desto höher steigt die Schmelztemperatur des Metalls, desto notwendiger wird eine hohe Temperatur im Ofen. Von Zeit zu Zeit rührt man das Metall mit langen eisernen Stangen durch, um die Mischung der Bestandteile zu fördern; besonders notwendig ist dieses Durchrühren dann, wenn dem zuerst eingesetzten und geschmolzenen Metalle fernere Zusätze (Alteisen, Erze) gegeben werden.

Die stattfindende Kohlenstoffverbrennung verrät sich durch ein Aufsteigen von Gasblasen aus dem geschmolzenen Metalle, wodurch ein förmliches Kochen des letzteren veranlaßt wird. Mit Benutzung eines blauen Glases zum Schutze der Augen gegen die im Ofen herrschende Weißglut verfolgt man die Erscheinungen im Ofen, und wenn das Kochen aufgehört hat oder doch erheblich nachläßt, nimmt man eine Probe. Mit einer eisernen, mit Ton ausgestrichenen Kelle entnimmt man dem Bade einige Kilogramm Metall und gießt sie in eine eiserne Gußform aus. Das Verhalten des Metalls hierbei, das Funkensprühen, Aufblähen oder Lungern beim Erstarren, gibt den ersten Anhalt für die Beurteilung. Der erhaltene kleine Block wird nunmehr unter einem Dampfhammer ausgeschmiedet und dann einer Kaltbiegeprobe unterworfen. Beim sauren Verfahren pflegt man einen Stab von etwa 15 mm Stärke zu schmieden, ihn heiß abzulöschen und kalt zu biegen. Ist die Entkohlung weit fortgeschritten, so erträgt er eine Biegung um 180 Grad, bei minder starker Entkohlung bricht er vorzeitig. Beim basischen Verfahren schmiedet man gewöhnlich eine kreisrunde Scheibe und faltet sie nach dem Ablöschen kalt ein- oder zweimal zusammen. Sie muß diese Behandlung ertragen, ohne Risse zu bekommen.

Auch das Bruchaussehen der nicht geschmiedeten Proben, welche zu diesem Zwecke mittelst Hammerschläge durchgebrochen werden, dient dem geübten Auge als zuverlässiges Merkmal für die stattgehabte Entkohlung oder Entphosphorung. Beim sauren Verfahren werden die ausgeschmiedeten und abgelöschten Proben bei länger fortgesetztem Schmelzen wegen der fortschreitenden Entkohlung grobkörniger, beim basischen Verfahren dagegen wegen der fortschreitenden Entphosphorung feinkörniger. Nach dem Ausfalle dieser Versuche richten sich die weiteren Maßnahmen. War der Ausfall befriedigend, so folgt der in jedem Falle unentbehrliche Zusatz von Spiegeleisen oder Eisenmangan; erwies sich dagegen das Metall noch zu kohlenstoff- oder phosphorreich, so wird das Schmelzen fortgesetzt, bisweilen auch wohl noch etwas Eisenerz oder Kalk (beim basischen Verfahren) zugesetzt, bis eine neue Probe zeigt, daß nunmehr die gewünschte Beschaffenheit erreicht ist.

Benutzt man zur Zuführung von Mangan ein Eisenmangan mit 50 bis 80 v. H. Mangan, so genügt bei der Arbeit auf weiches Eisen gewöhnlich ein Zusatz von 0,8 bis 1 v. H. des Einsatzgewichts, bei Darstellung härtern Stahls gibt man einen Zusatz von 1 bis 3 v. H., jedoch mit niedrigerem Mangangehalte. Nicht selten fügt man neben dem Eisenmangan Siliciumeisen zu, zumal wenn das Erzeugnis für Formgußdarstellung bestimmt ist.

Wenn alles fertig ist, wird das Stichloch geöffnet und der Ofeninhalt in die davor gebrachte Gießpfanne abgelassen; dann wird der Herd nachgesehen, ausgebessert, und ein neues Schmelzen kann beginnen. Soll nur ein Teil des erzeugten Metalls für Erzeugung von Blöcken, ein anderer dagegen für Formgußdarstellung benutzt werden, so gießt man zunächst die Blöcke, gibt dann einen erneuten Zusatz und füllt nun erst die übrigen Gußformen.

e) Abarten des Verfahrens.

Mehrfach ist man bemüht gewesen, die bei der Verarbeitung eines reichlichen Roheisensatzes im Martinofen sich ergebenden Nachteile, insbesondere die Verringerung der Erzeugungsfähigkeit des Ofens, durch Änderungen in der Ausführung des Verfahrens zu beseitigen. Nur die wichtigeren der hierfür zur Anwendung gelangten Mittel mögen hier Erwähnung finden.

Würtenbergers Verfahren. Es beruht auf dem Einleiten von Gebläsewind in das auf dem Herde des Martinofens befindliche Metall und ist auf dem Eisenwerke Phönix bei Ruhrort seit 1879 mehrere Jahre hindurch in Anwendung gewesen. Zum Einleiten dienten Düsenrohre, welche leicht an eine vor dem Ofen befindliche Windleitung angeschlossen werden konnten; die Windspannung betrug etwa 0,75 kg auf 1 qcm [1]). Der Erfolg des Verfahrens stand indes nicht mit den entstehenden Mehrkosten im Einklange, und so ist es jetzt kaum noch irgendwo in Benutzung.

Vereinigtes Bessemer- und Martinverfahren. In der Bessemerbirne wird das Metall vorgefrischt, um seines Silicium- und Mangangehalts sowie eines Teils seines Kohlenstoffgehalts beraubt zu werden, dann mit Hilfe einer Gießpfanne nach dem Martinofen befördert und hier fertig entkohlt [2]). Das Verfahren ist zur Erzeugung härteren Stahls seit 1872 mehrere Jahre auf dem steirischen Eisenwerke Neuberg in Benutzung gewesen [3]); als man später die Martinöfen mit basischem Herde einführte und dadurch die Möglichkeit erlangte, auch den Phosphor des Roheisens abzuscheiden, fand es vornehmlich zu dem Zwecke Eingang, das in der Birne vorgefrischte Eisen im Martinofen vollends zu entkohlen und zu entphosphoren. Eine Anlage zu diesem Zwecke wurde 1888 auf dem mährischen Eisenwerke Witkowitz errichtet und ist bis jetzt in Benutzung; bald darauf fand das Verfahren auch auf einigen anderen Werken Eingang. Es ist offenbar kostspieliger als das Thomasverfahren und kann deshalb nur dann von Nutzen sein, wenn ein Roheisen verarbeitet werden muß, welches zu arm an Phosphor und zu reich an Silicium ist, um für das Thomas-

[1]) Näheres hierüber und Abbildung der Vorrichtung: Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 295.

[2]) Über die Veränderungen beim Vorfrischen in der Birne geben folgende in Witkowitz ausgeführte Analysen Aufschluß:

	O	Si	Mn
Vor dem Blasen . . .	3,39	0,95	1,77
Nach dem Blasen . .	3,03	0,26	0,75

(Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1890, Seite 262).

[3]) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 736

verfahren geeignet zu sein, immerhin aber mehr Phosphor enthält, um die Erzeugung eines brauchbaren Flußeisens in der sauren Birne (ohne Mitbenutzung des basischen Martinofens) zu ermöglichen. Ist man nicht gezwungen, viel Roheisen neben wenig schmiedbarem Eisen zu verarbeiten, so stellt sich auch der gewöhnliche, oben beschriebene Martinbetrieb billiger. Daher ist die Anwendbarkeit des Verfahrens durch besondere örtliche Verhältnisse bedingt.

Bertrand-Thiel-Verfahren. Das Verfahren, welches im Jahre 1897 zuerst auf dem böhmischen Eisenwerke zu Kladno eingeführt und inzwischen weiter ausgebildet wurde, hat die Verarbeitung von Roheisen mit Erzzusatz zum Zwecke. Die oben erwähnten Übelstände einer solchen Verarbeitung in dem gewöhnlichen Martinofen werden verringert, insbesondere die Zeitdauer wird verkürzt, indem man zwei Öfen mit basischem Herde benutzt, deren erster zum Vorfrischen, der zweite zum Fertigfrischen dient, nachdem die zuerst entstandene Schlacke abgelassen und ein erneuter Erzzusatz gegeben worden ist. Dieser Ersatz der verbrauchten Schlacke durch frische Erze bedingt an erster Stelle den Erfolg des Verfahrens, und die Benutzung zweier Öfen hat vornehmlich den Zweck, die Entfernung der im ersten Ofen gebildeten, auf dem Metalle schwimmenden Schlacke ohne Schwierigkeit zu ermöglichen. Die Überführung des Metalls aus dem ersten in den zweiten Ofen kann geschehen, indem man den ersteren um etwa 3 m höher legt und in einer von einem zum andern Ofen führenden Rinne das Metall hinüberfließen läßt, oder indem man eine Gießpfanne mit Laufkran dafür benutzt.

Die Hauptmenge des Roheisens wird im bereits flüssigen Zustande unmittelbar vom Hochofen in den ersten Ofen eingebracht; nur das aus den Vorräten stammende Roheisen gelangt kalt in den Ofen. Zunächst setzt man einen Teil der Erze und des Kalksteins ein; hierauf das ungeschmolzene und dann das flüssige Roheisen. Nach einiger Zeit beginnt ein Kochen des Metalls, worauf man nach und nach den Rest des im ersten Ofen zuzuschlagenden Erzes und Kalksteins einbringt. In jedem Falle wird der Erzzusatz so bemessen, daß im ersten Ofen der Siliciumgehalt des Roheisens annähernd vollständig, der Phosphorgehalt bis auf etwa $0{,}2$ v. H., der Kohlenstoffgehalt bis auf etwa $2{,}5$ v. H. verbrannt wird. Der Erfolg dieses Vorfrischens oder Feinens ist mithin dem des Bellschen und Kruppschen Entphosphorungsverfahrens (Seite 331 II) ähnlich, nur daß in der höheren Temperatur des Martinofens und während des längeren Zeitraums der Einwirkung schon ein Teil des Kohlenstoffgehalts mit verbrennt. Nach Verlauf von etwa $2^1/_2$ Stunden vom Beginn des Einsetzens an ist die oxydierende Kraft der gebildeten Schlacke erschöpft, und das Metall wird ruhig. Inzwischen hatte man im zweiten Ofen den vorigen Einsatz fertig gefrischt, das Metall abgestochen und dann einen Einsatz von schmiedbarem Eisen gegeben, welches mit aufgearbeitet werden soll. Man befördert nun das im ersten Ofen vorgefrischte Metall in den zweiten, wo es sich mit dem vorgewärmten schmiedbaren Eisen mischt und führt hier die Entkohlung und Entphosphorung

durch erneuten Zusatz von Erzen zu Ende, während in dem ersten Ofen, nachdem die zurückgebliebene Schlacke abgelassen wurde, ein neuer Einsatz geschmolzen wird. Folgendes Beispiel zeigt die Zusammensetzung der Einsätze bei einem Paar Öfen in Kladno:

Erster Ofen.

0,60 t festes } Roheisen,
12,90 t flüssiges }

13,50 t Roheisen mit 1,34 v. H. Phosphor, 1,75 v. H. Mangan, 0,56 v. H. Silicium,
2,16 t Magneteisenerz,
0,94 t Kalk.

Zweiter Ofen.

2,00 t schmiedbares Eisen (Schrote),
1,60 t Magneteisenerz,
0,55 t Kalk;

zuletzt:

0,11 t Eisenmangan,
0,20 t Spiegeleisen.

Das Verfahren ist außer in Kladno auf mehreren englischen und kanadischen Werken in Benutzung. Eine zweckmäßige Vereinfachung hat dasselbe auf dem Eisen- und Stahlwerk Hösch in Dortmund gefunden, wobei man sich nur eines Martinofens bedient, dessen Inhalt nach dem Vorfrischen in eine Pfanne abgestochen wird. Das von der Schlacke befreite Metall wird dann in denselben Ofen wieder zurückgegeben und unter Zusatz neuer Zuschläge fertig gefrischt und entphosphort. Über seinen chemischen Verlauf und die Betriebsergebnisse ist Näheres unter f) und g) mitgeteilt.

Talbots Verfahren. Es ist seit 1899 auf den Pencoyd Iron Works in Nordamerika in Anwendung und hat die Benutzung eines Kippofens zur Voraussetzung[1]), welcher das Abgießen der Schlacke und eines Teils des fertigen Metalls ermöglicht, ohne daß völlige Entleerung erforderlich ist. Der vorhandene Ofen ist für Einsätze von 75 t bestimmt. Zu dem im Ofen befindlichen, an Fremdkörpern reichen Metalle fügt man Eisenerze, Walzsinter und Kalkstein; wenn die Einwirkung nachläßt, gießt man die Schlacke ab, gibt einen neuen Zusatz und wiederholt das Verfahren nötigenfalls, bis das Metall die gewünschte Beschaffenheit besitzt. Nunmehr gießt man einen Teil davon ab, zu dem im Ofen zurückbleibenden Metalle aber gibt man sofort einen frischen Einsatz. Man beabsichtigt damit, die Temperaturschwankungen zu verringern, welche durch das Einbringen frischer Körper in den Ofen hervorgerufen werden, während das Ablassen der erschöpften Schlacke und ihr Ersatz durch frische Zusätze die gleiche Wirkung übt wie beim Bertrand-Thiel-Verfahren. In Anbetracht der Kostspieligkeit der Benutzung von Kippöfen ist nicht zu erwarten, daß das Verfahren häufige Anwendung finden wird[2]).

f) Der chemische Verlauf des Martinschmelzens.

Veränderungen der Zusammensetzung des Eisens.

Im wesentlichen erstreckt sich der Verlauf auf eine allmählich fortschreitende Verbrennung des Kohlenstoffs, Siliciums, Mangans und beim basischen Verfahren des Phosphors. Unterschiede sind

[1]) Abgebildet in „Stahl und Eisen" 1902, Seite 717.

[2]) Näheres über die Ausführung des Verfahrens und die Betriebsergebnisse: „Stahl und Eisen" 1900, Seite 263.

indes bedingt teils durch die herrschende Temperatur, teils durch die Beschaffenheit des Herdes, ob basisch oder sauer.

Die Temperatur des Ofens ist stets hoch; daher verbrennt ein Teil des im Einsatze anwesenden Kohlenstoffgehalts schon beim Einschmelzen, auch wenn Silicium und Mangan daneben zugegen sind. Auf basischem Herde verläuft die Kohlenstoffverbrennung rascher als auf saurem (Seite 301 I).

Die Verbrennung des Siliciums wird ebenfalls durch die auf basischem Herde entstehende basische Schlacke befördert. Nach beendigtem Einschmelzen auf basischem Herde ist der Siliciumgehalt des Einsatzes bereits annähernd vollständig ausgetreten. Auf saurem Herde dagegen kann es, zumal in sehr hoher Temperatur, geschehen, daß noch am Ende des Verfahrens 0,1 v. H. Silicium oder mehr im Metalle zurückgeblieben ist[1]), und wie beim Bessemerverfahren kann schließlich durch den Manganzusatz wieder Silicium reduziert werden. Erzzusatz befördert die Ausscheidung des Siliciums.

In entgegengesetztem Sinne als Silicium wird Mangan durch die Beschaffenheit des Herdes beeinflußt: auf saurem Herde wird die Verbrennung befördert, auf basischem Herde verzögert. Selbst wenn der Kohlenstoffgehalt auf weniger als 0,1 v. H. gesunken ist, kann bei der basischen Arbeit noch 0,8 v. H. Mangan oder darüber im Metalle anwesend sein, sofern ein entsprechend manganreicher Einsatz verarbeitet wurde. Sogar bei Erzzusatz auf basischem Herde wird leicht ein Teil des Mangans vom flüssigen Metalle zurückgehalten, um so mehr, je höher die Temperatur ist, und je stärker demnach der noch anwesende Kohlenstoff auf das Erz wirkt.

Der Phosphorgehalt des Einsatzes verbrennt beim basischen Verfahren trotz der hohen Temperatur teilweise schon beim Einschmelzen, wenn man neben dem Roheisen bereits schmiedbares Eisen eingesetzt und dadurch den durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt erniedrigt hatte. Mit der Abnahme des Kohlenstoffgehalts schreitet alsdann die Ausscheidung des Phosphors fort, und bei ausreichend lange ausgedehntem Schmelzen ist man imstande, auch aus einem phosphorreichen Einsatze ein phosphorarmes Erzeugnis zu gewinnen; daß man jedoch es meistens vorzieht, mit phosphorärmeren Einsätzen zu arbeiten, um die Zeitdauer abzukürzen, an Brennstoff und Abbrand zu sparen, wurde schon erwähnt.

Der Schwefelgehalt des Einsatzes bleibt beim sauren Verfahren in den meisten Fällen ziemlich unverändert. Beim basischen Verfahren kann eine teilweise Schwefelausscheidung durch Übergang in die Schlacke stattfinden, und dieser Vorgang wird besonders deutlich bei hohem Schwefelgehalte des Einsatzes bemerkbar. Ein Mangangehalt des Einsatzes erleichtert die Entschweflung, und bei dem schließlichen Eisenmanganzusatze kann eine erneute Abscheidung des Schwefels eintreten. Bei der Verarbeitung von 16 Einsätzen mit hohem Schwefelgehalte wurde durch Campbell

[1]) Der Einfluß der hohen Temperatur ist hier der nämliche wie beim Bessemerverfahren (Seite 301 I).

die jedesmalige Abnahme vor und nach dem Manganzusatze ermittelt[1]), wobei sich folgende Durchschnittsziffern ergaben:

Schwefelgehalt		
des Einsatzes	des entkohlten Metalls vor Eisenmanganzusatz	des Metalls nach Eisenmanganzusatz
0,24	0,09	0,08

Auch ein hoher Eisenoxydulgehalt der Schlacke begünstigt vermöge der Neigung des Eisenoxyduls, Eisensulfür zu lösen[2]), die Entschweflung, und deshalb kann bei Verarbeitung schwefelreicher Einsätze ein reichlicher Erzzusatz nützlich sein. Thompson fand, daß durch Anwendung dieses Mittels dem Einsatze mehr als die Hälfte seines Schwefelgehalts sich entziehen lasse[3]).

Da sehr kalkreiche Schlacken auch sehr strengflüssig sind, hat man neben reichlichen Mengen Kalksteins bisweilen auch Flußspat zugesetzt, um die entstehenden Schlacken leichter schmelzbar zu machen; Saniter empfiehlt für den gleichen Zweck Chlorcalcium[4]). Bei Versuchen auf den Kruppschen Werken mit letzterem Verfahren wurden auf 7500 kg Einsatz etwa 350 kg Kalkstein, 350 kg gebrannter Kalk, 150 kg Chlorcalcium und 350 kg Erz zugeschlagen und dabei eine Verminderung des Schwefelgehalts von 0,088 auf 0,019 v. H. (als Mittelwerte aus 16 Versuchen) beobachtet; bei Verarbeitung gleicher Einsätze mit ebensoviel Kalk- und Erzzusatz, jedoch ohne Chlorcalcium, fand keine Abnahme des ursprünglichen Schwefelgehalts statt[5]).

Wenn demnach durch Anwendung verschiedener Mittel eine teilweise Entschweflung schwefelreicher Einsätze auf basischem Herde möglich ist, können andernteils schwefelarme Einsätze im Martinofen Schwefel aufnehmen, wenn sie mit schwefelreichen Gasen in Berührung treten oder wenn die gegebenen Zusätze schwefelreich waren. Campbell beobachtete in einem derartigen Falle eine Schwefelanreicherung von 0,04 auf 0,07 v. H.[6]); bei einem in Hörde verarbeiteten Einsatze stieg der Schwefelgehalt während des Schmelzens von 0,067 auf 0,087 v. H. Ähnliche Beobachtungen sind beim Betriebe der basischen Martinöfen häufig gemacht, seltener beim Betriebe auf saurem Herde[7]).

---

1) Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 22 Seite 345; daraus in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 872.

2) Vergl. Seite 360 I.

3) Aus Iron Age 1896, Seite 810, in „Stahl und Eisen" 1896, Seite 413.

4) Über die Wirkung eines Zusatzes von Flußspat oder Chlorcalcium vergl. Seite 217 I.

5) „Stahl und Eisen" 1895, Seite 616. Über den Wert des Saniterverfahrens vergl. auch „Stahl und Eisen" 1893, Seite 49, 165, 455; über die Wirkung verschiedener anderer Zusätze (Eisenmangane, Flußspat) „Stahl und Eisen" 1896, Seite 415 (Thompson).

6) Wie oben Fußanmerkung 1.

7) Stille fand, daß beim Schmelzen auf saurem Herde anfangs eine Schwefelabnahme eintrat, welche aber durch Aufnahme von Schwefel aus den Gasen nach und nach wieder ausgeglichen wurde, so daß der Schwefelgehalt des Erzeugnisses dem des Einsatzes annähernd gleich war. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 325.

Beispiele.

Saures Verfahren.

1. Schmelzen in der Gutehoffnungshütte im Jahre 1879. Untersuchungen von Kollmann[1]).

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan
Einsatz, bestehend aus 400 kg grauem Roheisen, 4000 kg Flußeisen, 600 kg Schweißeisen	0,497	0,480	0,089	0,016	0,860
7 Stunden nach dem Beginne des Einsetzens; lebhaftes Kochen	0,060	0,150	0,090	0,020	Spur
Nach Zusatz von 300 kg Erz	0,050	Spur	0,090	0,020	„
Nach Zusatz von 70 kg Eisenmangan mit 60 v. H. Mangan	0,100	Spur	0,090	0,020	0,870

2. Schmelzen in einem nicht genannten Eisenwerke um das Jahr 1890. Mitteilung von Mehrtens[2]).

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan	Kupfer
Einsatz, bestehend aus 3,5 t Roheisen und 7 t schmiedbarem Eisen . . .	1,30	0,77	0,08	0,05	1,28	0,11
Nach 7 Stunden bei höchster Hitze des Bades	0,80	0,25	n.best.	n.best.	0,20	n.best.
Nach abermals 2 Stunden und Zusatz von 600 kg Erz	0,07	0,01	„	„	Spur	„
Nach Zusatz von 135 kg Eisenmangan mit 40 v. H. Mangan	0,18	0,04	0,08	0,05	0,30	0,11

Basisches Verfahren.

1. Schmelzen eines Einsatzes mit hohem Phosphorgehalte in einem englischen Eisenwerke. Untersuchungen von F. W. Harbord[3]).

Die Analysenreihe auf Seite 366 zeigt deutlich die allmähliche Abnahme des ursprünglichen hohen Phosphorgehalts, von welchem schon während des vierstündigen Einschmelzens fast die Hälfte ausgetreten ist, worauf dann die Entphosphorung annähernd gleichmäßig fortschreitet. Auch eine Abnahme des ursprünglichen, verhältnismäßig hohen Schwefelgehalts ist deutlich erkennbar; trotzdem ist das Erzeugnis schwefelreicher geblieben, als für ein gut schmiedbares Flußeisen wünschenswert ist. Erheblich ist hier auch die Menge des während des Einschmelzens verbrannten Kohlenstoffs; bei einer

[1]) Verh. d. Ver. z. Beförd. d. Gewerbfl. 1880, Seite 221.
[2]) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 709.
[3]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1886, II, Seite 700.

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan
Einsatz (65 Teile Roheisen, 35 Teile schmiedbares Eisen).	2,300	0,870	2,300	0,230	0,960
Nach 4 Stunden; Einschmelzen beendigt	0,420	0,060	1,220	0,230	0,080
Nach abermals 1/2 Stunde . .	0,230	0,070	1,180	0,213	0,060
" " 1/2 " . .	0,178	0,070	1,000	0,206	0,068
" " 1/2 " . .	0,094	0,050	0,840	0,183	0,062
" " 1/2 " . .	0,075	0,040	0,700	0,170	0,064
" " 1/2 " . .	0,070	0,045	0,480	0,165	0,060
" " 1/2 " . .	0,060	0,050	0,330	0,157	0,065
" " 1/2 " . .	0,050	0,045	0,192	0,160	0,065
" " 1/2 " . .	0,045	0,025	0,116	0,127	0,080
" " 1/2 " . .	0,050	0,010	0,085	0,130	0,051
Nach Eisenmanganzusatz . .	0,130	Spur	0,065	0,125	0,510

anderen, von demselben Forscher angestellten Untersuchung[1]) verringerte sich der Kohlenstoffgehalt während des Einschmelzens nur auf 1,76 v. H., während der sonstige Verlauf ziemlich genau den obigen Ziffern entsprach. Die Temperatur war in diesem Falle offenbar niedriger. Eine Aufzeichnung der Schaulinien des Ver-

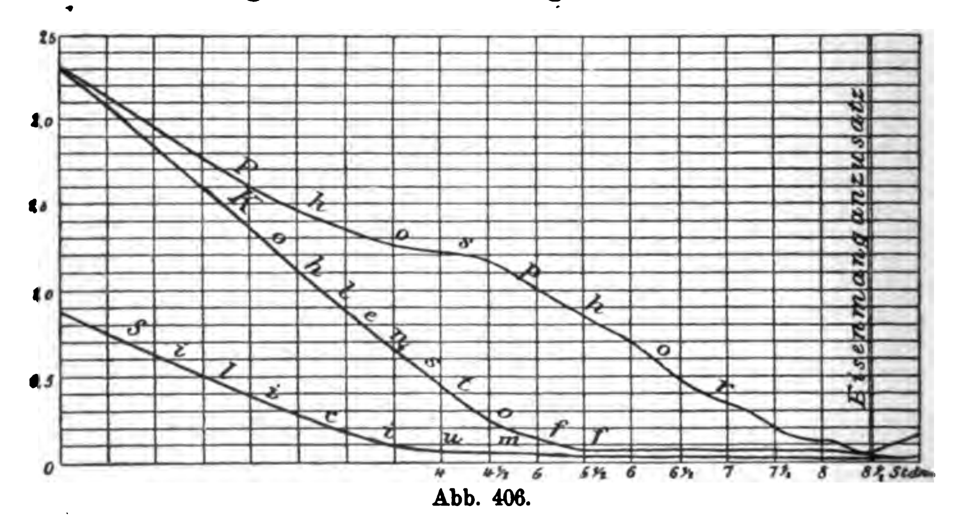


Abb. 406.

haltens des Kohlenstoffs, Phosphors und Siliciums nach Maßgabe der mitgeteilten Analysen ergibt die Abb. 406. Die Manganlinie würde in diesem Falle sich annähernd mit der Siliciumlinie decken und ist deshalb nicht besonders gezeichnet. Ein Vergleich der dargestellten Linien mit denen des Thomasverfahrens (Abb. 396 und 397 auf Seite 327 und 329 III) läßt die Unterschiede der chemischen Eigentümlichkeiten erkennen, zumal wenn man berücksichtigt, daß die gesamte Zeitdauer des Martinschmelzens in diesem

[1]) Ausführlich in der genannten Abhandlung mitgeteilt.

Falle etwa das Fünfundzwanzigfache von der Zeitdauer des Thomasverfahrens betrug.

2. Schmelzen eines Einsatzes mit niedrigem Phosphorgehalte in einem nicht genannten Eisenwerke um das Jahr 1890. Mitteilung von Mehrtens[1]).

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Schwefel	Mangan	Kupfer
Einsatz, bestehend aus 2,5 t Roheisen und 5 t Bessemerschienenenden . .	1,48	0,32	0,09	0,03	1,37	0,11
Nach 4 Stunden bei höchster Temperatur des Bades	0,32	0,01	0,06	0,03	0,37	0,11
Nach weiteren 70 Minuten und 230 kg Erzzusatz	0,09	0,005	0,03	0,03	0,35	0,11
Nach Zusatz von 50 kg Eisenmangan mit 40 v. H. Mangan	0,15	0,009	0,03	0,02	0,53	0,11

Der Kohlenstoff verbrennt hier im Anfange etwas weniger rasch als in Beispiel 1; vermutlich war die Temperatur nicht ganz so hoch wie in jenem Falle. Silicium verbrennt rasch und vollständig; der Phosphorgehalt verringert sich zusehends mit dem Fortschreiten der Entkohlung. Von dem höheren Mangangehalte des Einsatzes aber bleibt eine reichlichere Menge als bei dem vorigen Beispiele auch in dem entkohlten Metalle zurück. Das abweichende Verhalten des Mangans bei dem sauren und basischen Verfahren läßt sich besonders deutlich erkennen, wenn man das Beispiel 2 des sauren Verfahrens mit dem Beispiele 2 des basischen Verfahrens vergleicht. Dort brennt der Mangangehalt ziemlich vollständig weg, hier hinterbleibt noch 0,35 v. H. Mangan; die Folge davon ist, daß auch das Erzeugnis bei dem basischen Verfahren trotz des spärlicher bemessenen Eisenmanganzuschlags manganreicher ausfällt als bei dem sauren Verfahren[2]).

Eine Verzeichnung der Schaulinien des Beispiels 2 würde ein ähnliches Bild liefern wie Abb. 406[3]).

3. Schmelzen eines Einsatzes nach dem Verfahren von Bertrand-Thiel auf dem Eisenwerke Kladno im Jahre 1899[4]).

---

[1]) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 709.

[2]) Bei dem sauren Verfahren wurden einem Einsatze von 10,5 t Gewicht 135 kg Eisenmangan, also 1,3 v. H. zugesetzt, bei dem basischen Verfahren betrug der Zusatz 50 kg auf einen Einsatz von 5,5 t, also 0,95 v. H.

[3]) Sonstige chemische Untersuchungen über die Veränderungen der Zusammensetzung des Eisens im Martinofen sind unter anderem mitgeteilt in „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 259 und 260 (saures Verfahren); 1891, Seite 549, oder Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 33 (basisches Verfahren); Bulletin de la société de l'industrie minérale, Reihe 3, Band III (1889), Seite 1477 (basisches Verfahren); Iron Age 1896, Seite 110 oder „Stahl und Eisen“ 1896, Seite 415 (basisches Verfahren).

[4]) Persönliche Mitteilung.

	Kohlenstoff	Silicium	Phosphor	Mangan
Erster Ofen.				
Einsatz, bestehend aus flüssigem Roheisen	3,52	0,51	1,36	0,45
Nach 45 Minuten und zweimaligem Zusatz von Erz und Kalk	3,55	0,34	1,30	0,42
Nach abermals 20 Minuten und einmaligem Zusatz von Erz und Kalk	3,45	0,15	0,98	0,42
Nach abermals 20 Minuten und einmaligem Zusatz von Erz und Kalk	3,05	0,04	0,39	0,10
Nach abermals 20 Minuten und einmaligem Zusatz von Erz ohne Kalk	2,65	0,04	0,04	0,06
Nach abermals 37 Minuten und einmaligem Zusatz von Erz; beim Abstechen, 2 Stunden 22 Minuten nach dem Einsetzen	2,50	0,04	0,09	0,10
Zweiter Ofen.				
38 Minuten nach dem Einlassen des Metalls aus dem ersten Ofen	0,81	0,04	0,05	0,06
Nach abermals 20 Minuten	0,35	0,02	0,02	0,05
„ „ 20 „	0,19	0,02	0,01	0,05
„ „ 20 „	0,18	0,02	0,01	0,23
„ „ 22 „ beim Abstechen aus dem zweiten Ofen, 2 Stunden — Minuten nach dem Einbringen in diesen Ofen	0,15	0,02	0,01	0,32

Die Zunahme des Phosphorgehalts im Roheisen vor dem Abstechen aus dem ersten Ofen läßt auf eine Reduktion von Phosphor durch Kohlenstoff aus der phosphorsäurereichen Schlacke schließen, wozu die inzwischen gesteigerte Temperatur des Ofens die Veranlassung gab; die Zunahme des Mangangehalts gegen Ende des Schmelzens im zweiten Ofen erklärt sich aus dem inzwischen bewirkten Zusatze von Eisenmangan. Die Schaulinien des Verfahrens würden eine anfänglich flachere Kohlenstofflinie als in Abb. 406 aufweisen; erst nach dem Einbringen des Metalls in den zweiten Ofen fällt die Kohlenstofflinie steil ab.

Veränderungen der Zusammensetzung der Schlacken.

Saures Verfahren.

Die Schlacken des sauren Verfahrens enthalten stets reichliche Mengen von Kieselsäure, aus dem Herde aufgelöst und durch die Verbrennung des Siliciums im Eisen entstanden, daneben vorwiegend Eisenoxydul und Manganoxydul. Der Manganoxydulgehalt der Schlacke steht im Verhältnisse zu dem Mangangehalte des Einsatzes; aber die Schlackenmenge wird bei größerem Mangangehalte beträchtlicher, da die größere Menge Manganoxydul reichlichere Mengen Kieselsäure aus dem Ofenfutter auflöst. Die Folge hiervon sowie auch des Umstandes, daß der Mangangehalt des Einsatzes das Eisen vor Verbrennung schützt, ist, daß der Eisengehalt der Schlacke geringer ausfällt, wenn ein manganreiches Eisen verarbeitet wurde, als umgekehrt.

Aber auch der Kohlenstoffgehalt des fertigen Eisens und die Temperatur im Ofen sind für den Eisengehalt der Schlacke maßgebend. In Rücksicht auf die reduzierende Einwirkung des Kohlenstoffs auf Eisenoxydul, welche mit der Temperatur zunimmt, muß der Eisengehalt der Schlacke um so niedriger ausfallen, je kohlenstoffreicher das fertige Eisen und je heißer der Ofen ist.

Schlacken und Eisenproben bei zwei Schmelzen desselben Ofens[1])	Kohlenstoffgehalt des Eisens	Schlacke				
		Kieselsäure	Tonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul	Kalkerde
Erstes Schmelzen (niedrige Ofentemperatur).						
Nach dem Einschmelzen des ersten, aus 3600 kg Roheisen und 1000 kg Schienenenden bestehenden Einsatzes	1,18	42,56	1,46	28,39	27,47	n.best.
Nach dem Einschmelzen des zweiten, aus 4000 kg schmiedbaren Eisens bestehenden Einsatzes	0,69	42,94	1,53	22,32	31,47	„
Nach dem Einschmelzen des dritten, aus 3000 kg Altschienen bestehenden Einsatzes	0,27	48,03	1,76	18,48	30,15	0,78
1 Stunde später	0,20	47,87	2,34	19,58	29,90	n.best.
Wiederum 80 Minuten später; vor Eisenmanganzusatz	0,12	48,90	2,01	19,37	28,88	„
Nach Eisenmanganzusatz (120 kg) . .	0,31	49,63	n.best.	20,89	25,42	„
Zweites Schmelzen (hohe Ofentemperatur).						
Nach dem Einschmelzen des ersten, aus 3400 kg Roheisen und 2200 kg Flußeisen bestehenden Einsatzes . .	1,46	42,13	1,57	35,19	20,37	0,70
Nach dem Einschmelzen des zweiten, aus 4400 kg schmiedbaren Eisens bestehenden Einsatzes	1,10	49,56	1,96	32,25	14,44	n.best.
Nach dem Einschmelzen des dritten, aus 3900 kg Altschienen bestehenden Einsatzes	0,62	50,06	1,84	28,92	18,14	„
2 Stunden später, nach Zusatz von 100 kg Roteisenerz	0,19	57,48	2,66	18,29	17,28	3,01
Nach Eisenmanganzusatz (120 kg) . .	0,37	59,07	1,85	19,99	14,68	3,12

Auch bei der Arbeit mit Erzen ist die Zusammensetzung der Schlacke, insbesondere ihr Eisengehalt, nicht erheblich anders als ohne Erzzusatz. Das aus den Erzen unreduziert zurückbleibende Eisenoxydul löst eben aus dem Herdfutter so lange Kieselsäure auf, bis die Zusammensetzung der Schlacke mit der herrschenden Temperatur und dem Kohlenstoffgehalte des erzeugten Eisens im Einklange steht.

[1]) Martinofen des Grazer Südbahn-Walzwerkes im Jahre 1883. Die Untersuchungen sind von mir angestellt und zuerst in „Stahl und Eisen" 1884, Seite 259 und 260, mitgeteilt.

Eisenoxyd (Fe_2O_3) kann in den Schlacken des sauren Martinbetriebs ebensowenig wie in Bessemerschlacken zugegen sein. In der hohen Temperatur und bei Anwesenheit eines beträchtlichen Kieselsäuregehalts ist das Eisenoxyd wenig beständig, und die reduzierenden Einwirkungen des Kohlenstoff-, Silicium- und Mangangehalts im Eisen führen zu allererst die Umwandlung des Oxyds zu Oxydul herbei, sofern solches etwa durch Zusatz (Erze) in den Ofen gebracht worden ist. Die Veränderungen, welche die Zusammensetzung der Schlacken während des Schmelzens erfährt, sind zum Teil durch die Menge und die Beschaffenheit der bei der Arbeit gegebenen Zusätze (Alteisen, Erze), teils durch den Wechsel der Temperatur bedingt. Im Anfange werden Eisen und Mangan verbrannt, und die zuerst entstehende Schlacke ist demnach ziemlich reich an Eisen- und Manganoxydul. Die Temperatur steigt gewöhnlich bei fortgesetztem Schmelzen, und die Schlackenmenge wächst infolge der Auflösung von Kieselsäure aus dem Herde; der Gehalt an Eisen- und Manganoxydul nimmt mithin ab, der Gehalt an Kieselsäure zu. Je heißer der Ofen ist, desto reicher an Kieselsäure fällt demnach die Schlacke aus. Wird schließlich Eisenmangan zugesetzt, dessen Mangangehalt teilweise in die Schlacke geht, so wird diese wieder etwas manganreicher und entsprechend eisenärmer.

Die auf voriger Seite verzeichneten Analysen lassen die Abweichungen erkennen, welche die Zusammensetzung der unter ganz ähnlichen Verhältnissen, nur in abweichender Temperatur des Ofens und bei etwas verschiedener Zusammensetzung des Einsatzes erfolgten Schlacken besitzen kann.

Basisches Verfahren.

Die Schlacken des basischen Verfahrens lösen während des Schmelzens nicht nur den zugesetzten Kalk, sondern auch Teile des basischen Herdes auf; daher verringert sich ihr Kieselsäuregehalt im Verlaufe des Schmelzens mehr und mehr, während ihr Gehalt an Kalkerde, unter Umständen auch an Magnesia, zunimmt. Bei Vermehrung der Schlackenmenge durch Aufnahme von Kalk und Magnesia nimmt ihr Eisen- und Manganoxydulgehalt ab; mitunter ist jedoch eine Zunahme des Eisengehalts dann bemerkbar, wenn Erze zugesetzt wurden oder auch, wenn gegen Ende des Schmelzens noch reichliche Mengen Eisen verbrannt wurden. Die erkalteten Schlacken enthalten nicht selten neben dem Eisenoxydul auch kleine Mengen Eisenoxyd, welches vermutlich erst beim Erkalten der Schlacke gebildet wurde. Da die Phosphorabscheidung aus dem Eisen sich auf die gesamte Zeitdauer des Schmelzens erstreckt, müßte der Phosphorsäuregehalt der Schlacke unausgesetzt zunehmen, wenn nicht auch die Schlackenmenge sich stetig vermehrte. Letzterer Umstand erklärt es, daß der Phosphorsäuregehalt von Beendigung des Einschmelzens ab gewöhnlich nicht mehr große Veränderungen erleidet; dagegen können die Unterschiede in dem Phosphorsäuregehalte verschiedener Schlacken erheblich sein, wenn man das eine Mal einen phosphorreichen, das andere

Mal einen phosphorarmen Einsatz verarbeitete, oder wenn man das Verhältnis des Kalkzuschlags verschieden bemaß. Selten beträgt der Phosphorsäuregehalt der Schlacke bei dem gewöhnlichen Verfahren mit beschränktem Roheisenzusatze mehr als 5 v. H., da die Entphosphorung bei reichlicherem Kalkzuschlage leichter und rascher als bei geringerem sich bewerkstelligen läßt; bei dem Bertrand-Thiel-Verfahren mit phosphorreichem Roheisen dagegen, wo die Schlacke des ersten Ofens Gelegenheit fand, sich mit Phosphorsäure zu sättigen, kann ihr Phosphorsäuregehalt auf 20 v. H. steigen. Der Schwefelgehalt der basischen Martinschlacken (welcher bei den meisten vorliegenden Untersuchungen nicht bestimmt wurde) bewegt sich etwa zwischen 0,02 bis 0,5 v. H.; indes bleibt nur ein Teil des aus dem Eisen abgeschiedenen Schwefels in der Schlacke zurück, ein anderer Teil verbrennt und entweicht als schweflige Säure, wie durch Berechnung sich finden läßt.

Beispiele.

1. Bei der oben (Beispiel 1 der chemischen Veränderungen des Eisens auf basischem Herde) besprochenen Verarbeitung eines Einsatzes mit hohem Phosphorgehalte ergab sich die folgende Zusammensetzung der Schlacken:

	Kohlenstoffgehalt des Eisens	Schlacke: Kieselsäure	Phosphorsäure	Tonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul (FeO)	Eisenoxyd (Fe_2O_3)	Kalkerde	Magnesia
Nach beendigtem Einschmelzen .	0,42	22,90	12,50	14,20	3,69	14,90	1,17	28,00	1,70
2 Stunden später.	0,075	n.best.	n.best.	n.best.	n.best.	5,91	1,23	n.best.	n.best.
Nach abermals 2 Stunden. . .	0,045	17,20	16,19	12,20	2,64	13,30	2,31	33,60	2,27

2. Die Tabelle auf Seite 372 zeigt die Zusammensetzung der Verarbeitung eines phosphorarmen Einsatzes (Phosphorgehalt 0,085, des fertigen Metalls 0,011 v. H.) bei dem Eisenwerke Rešicza in Ungarn miterfolgenden Schlacken. Nach Schmidhammer[1]).

g) Die Betriebsergebnisse.

Für die Zeitdauer der Verarbeitung eines Einsatzes sind verschiedene Umstände maßgebend. Zunächst die Größe des Einsatzes. Zwar wird in einem größeren Ofen mehr Wärme als in einem kleineren entwickelt, so daß er befähigt ist, mehr Eisen als dieser in derselben Zeit zu schmelzen, aber das Einsetzen, das

[1]) „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 549; auch Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 33.

Abstechen und andere Arbeiten erheischen bei dem größeren Ofen immerhin eine längere Spanne Zeit als bei dem kleineren, und die Zeitdauer der Verarbeitung wächst demnach mit der Größe der Einsätze. Während Einsätze bis zu 20 t Gewicht unter günstigen Verhältnissen sich in 4 bis 5 Stunden verarbeiten lassen, so daß täglich 5 bis 6 Einsätze geschmolzen werden können, beansprucht das Schmelzen in den auf amerikanischen Werken üblichen 50 t-Öfen 9 bis 12 Stunden[1]).

	Kohlenstoffgehalt des Eisens	Schlacke						
		Kieselsäure	Phosphorsäure	Tonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul	Kalkerde	Magnesia
Nach beendigtem Einschmelzen	1,18	27,96	1,06	0,84	9,95	11,98	42,50	4,73
15 Minuten später, nach Zusatz von 120 kg Hammerschlag .	1,01	16,46	2,78	1,10	14,01	18,67	39,00	5,82
Nach Zusatz von abermals 180 kg Hammerschlag	0,98	19,60	2,77	0,72	19,74	19,23	35,00	4,80
Nach Zusatz von abermals 72 kg Hammerschlag	0,61	18,56	2,74	1,21	12,68	21,97	36,00	5,60
Nach Zusatz von abermals 48 kg Hammerschlag	0,42	16,16	2,24	0,76	11,59	28,37	36,50	6,14
19 Minuten nach dem letzten Zusatze	0,27	14,76	2,77	0,82	10,99	30,77	36,60	4,70
Nach abermals 51 Minuten, unmittelbar vor Eisenmanganzusatz	0,20	13,90	2,30	2,80	10,41	24,62	39,50	5,76

Daß durch reichliches Verhältnis des Roheisens zum schmiedbaren Eisen die Verarbeitung verzögert werde, ist bereits erwähnt worden. Durch Benutzung flüssigen Roheisens aus dem Hochofen oder Mischer (Seite 334 II) läßt sich in diesen Fällen das Verfahren abkürzen; inwiefern die Teilung der Arbeit in das Vor- und Fertigfrischen in zwei verschiedenen Öfen nach Bertrand-Thiels Verfahren förderlich sein könne, ist oben erläutert worden. In einem Paar 15 t-Öfen werden nach Bertrand-Thiels Verfahren bei Benutzung flüssigen Roheisens täglich 8 Einsätze verarbeitet.

Daß auf basischem Herde die Arbeit rascher vonstatten geht als auf saurem, und daß auch durch Anwendung einer mechanischen Beschickungsvorrichtung eine Beschleunigung zu erzielen sei, hat gleichfalls schon Erwähnung gefunden.

Von der Größe und Anzahl der verarbeiteten Einsätze hängt die Tageserzeugung des Ofens ab. 15 t-Öfen können beim basischen Betriebe täglich an 75 t Metall und bisweilen noch etwas darüber liefern, beim sauren Betriebe wegen des langsameren Verlaufes gewöhnlich nicht mehr als 50 bis 55 t; 50 t-Öfen mit basischem Herde liefern etwa 120 t im Tage.

Der Abbrand ist bei der Arbeit ohne Erzzusatz zum Teil durch das Verhältnis des Roheisens zum schmiedbaren Eisen

[1]) „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 1170. Auf den Homestead-Werken der Carnegie Steel Co. verarbeitet ein 50 t-Ofen wöchentlich 16 Einsätze („Stahl und Eisen“ 1902, Seite 648.

bedingt. Aus dem Roheisen werden Kohlenstoff, Mangan, Silicium, beim basischen Verfahren auch Phosphor ihrer größten Menge nach abgeschieden; je reicher an diesen Bestandteilen der Einsatz war, je mehr Roheisen man also gesetzt hatte, desto höher beziffert sich der Abbrand. Daneben spricht die Beschaffenheit des verwendeten schmiedbaren Eisens mit. Eisenschrot in kleinen Stücken, zum Teil verrostet und mit Sand gemengt, liefert reichlicheren Abbrand als rostfreies Eisen in größeren Stücken. Meistens beträgt der Abbrand bei dieser Arbeit 5 bis 8 v. H. des Einsatzgewichts. Bei der Verarbeitung von Roheisen mit Erzen kann dagegen das Ausbringen höher als der Einsatz sich beziffern, wenn in hoher Temperatur ein Teil des Eisengehalts der Erze durch den Kohlenstoff- oder Siliciumgehalt des Roheisens reduziert wird, da 1 Gewichtsteil Kohlenstoff 4,6 Gewichtsteile Eisen, 1 Gewichtsteil Silicium 4 Gewichtsteile Eisen zu reduzieren vermag ($C + FeO = CO + Fe$ oder $Si + 2\,FeO = SiO_2 + 2\,Fe$). Bei dem Bertrand-Thiel-Verfahren mit Einsätzen aus etwa 90 v. H. Roheisen, 10 v. H. Alteisen (Schrot) und 25 v. H. des Eisengewichts an reichen Magneteisenerzen erzielt man z. B. Ausbringen von etwa 102 v. H. des eingesetzten Eisens [1]). Wieviel Eisen in solchen Fällen aus dem Erze reduziert war, läßt sich nur durch Berechnung aus dem Gewichte und der Zusammensetzung der eingesetzten Schmelzstoffe und der erhaltenen Erzeugnisse (Eisen und Schlacken) finden. Verschiedene solcher Berechnungen haben ergeben, daß von dem Eisengehalte der zugesetzten Eisenoxyde gewöhnlich 30 bis 60 v. H. ausgebracht, demnach 70 bis 40 v. H. verschlackt werden [2]). Maßgebend dabei ist vornehmlich das Verhältnis der im Bade anwesenden reduzierenden Körper (Kohlenstoff, Silicium, Mangan) zu den Eisenoxyden. Schmelzt man Roheisen mit einer beschränkten Menge Erz ohne Zusatz von schmiedbarem Eisen (z. B. 4 Teile Roheisen mit 1 Teil Erz) und stellt daraus ein nicht sehr kohlenstoffarmes Erzeugnis dar, so kann man 50 bis 60 v. H. des Eisengehalts im Erze ausbringen, und bisweilen hat die Rechnung ein noch etwas höheres Ausbringen ergeben; erhöht man den Erzzusatz übermäßig und setzt man reichliche Mengen schmiedbaren Eisens zu, um das Verfahren abzukürzen, so kann das Ausbringen auf die angegebene niedrigste Ziffer sinken.

Der Brennstoffverbrauch zur Darstellung einer bestimmten Menge Flußeisens wächst mit der Zeitdauer des Schmelzens und ist daher durch ähnliche Umstände wie diese bedingt. Aber auch die Größe des Ofens spricht hierbei mit, da der größere Ofen eine günstigere Wärmeausnutzung als der kleinere ermöglicht. Diesen Umständen entsprechend zeigt der Brennstoffverbrauch unter verschiedenen Verhältnissen ziemlich erhebliche Unterschiede. Bei dem Betriebe von Öfen mit 12 t oder mehr Inhalt, basischem

---

1) Beispiele: „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1310.

2) Derartige Berechnungen findet man unter anderem mitgeteilt in: Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 295; 1893, Seite 34; Berg- und hüttenm. Ztg. 1890, Seite 6 (aus Jernkontorets Annaler); A. Pourcel, Note sur le procédé au minéral, Paris 1891, Seite 12 (aus den Mémoires de la société des ingénieurs civils, Mai 1891).

Herde, wenig Roheisenzusatz und Benutzung aschenarmer, zur Vergasung gut geeigneter Steinkohlen ist man befähigt, mit einem Brennstoffaufwande von nicht über 270 kg, mitunter noch etwas weniger, auf 1 t erzeugten Metalls zu arbeiten [1]); unter ungünstigen Verhältnissen — Benutzung kleiner Öfen, Verarbeitung hoher Roheisensätze mit geringwertigen Steinkohlen — kann der Brennstoffverbrauch auf 500 kg steigen. Benutzt man Braunkohlen, so ist der Brennstoffverbrauch im umgekehrten Verhältnisse ihres Brennwertes größer. Auf dem Südbahnwalzwerke in Graz gebrauchte man in den Jahren 1882 und 1883 beim Betriebe von zwei $12^1/_2$ t-Öfen etwa 690 kg steirische Braunkohlen für 1000 kg Fertigmetall, bei kleineren Öfen desselben Werkes 880 kg. Bei dem 7 t-Ofen eines ungarischen Werkes dagegen, welches Braunkohlen mit 15 v. H. Asche und 25 bis 30 v. H. Wasser zu benutzen gezwungen war, stieg der Braunkohlenverbrauch auf 4500 kg [2]).

Durch Gegenüberstellung der im Martinofen durch Verbrennung der Gase und der Bestandteile des Einsatzes entwickelten sowie von den heißen Gasen und der Verbrennungsluft mitgebrachten Wärme einerseits und der zur Erhitzung des Eisens sowie der Schlacken verbrauchten, ferner durch die Essengase mitgenommenen und durch die heißen Ofenwände nach außen abgegebenen Wärme andererseits erhält man, wie beim Hochofen, eine Wärmebilanz des Martinofens. H. von Jüptner und Fr. Toldt fanden bei derartigen Ermittelungen [3]) an drei mit Braunkohlen geheizten 5 t-Öfen, daß von der gesamten Wärme, welche im Ofen durch die Gase mitgebracht wurde, in einem Falle 12,7 v. H., in dem zweiten Falle 15,0 v. H., in dem dritten Falle 19,9 v. H. zur Erhitzung des erzeugten Eisens und der Schlacken verbraucht wurden, während der Rest durch die Essengase und die Ofenwände verloren ging. Der Braunkohlenverbrauch für 1 t fertigen Eisens bei den drei Öfen betrug 790, 628 und 381 kg. Bei der Vergasung dieser Braunkohlen und der Fortleitung des erzeugten Gases aber gingen, wie die angestellten Ermittelungen ebenfalls nachwiesen, von ihrem Brennwerte etwa 50 v. H. durch Rostdurchfall und Abkühlung verloren, so daß, wenn man die Ausnutzung des Brennwertes der verbrauchten rohen Kohle im Martinofen berechnet, der Wirkungsgrad der letzteren (Seite 140, 179 I) sich nicht höher als etwa 0,08 beziffert. Ein ähnliches Ergebnis (Wirkungsgrad = 0,11) erhielt Campbell bei einem mit Steinkohlengas geheizten Ofen [4]).

Die Arbeiter bei einem Martinofen bestehen aus einem Schmelzer mit zwei bis drei Gehilfen in jeder Schicht, den Arbeitern in der Gießgrube und bei den Gaserzeugern, deren Zahl von dem Umfange des Betriebes abhängt; hierzu kommen die verschiedenen Handlanger zur Herbeischaffung der Schmelzstoffe. Die Löhne für je 1 t erzeugten Metalls sind, wie bei anderen Betriebszweigen, im allgemeinen um so niedriger, je größer die Tageserzeugung ist, und schwanken gewöhnlich zwischen 3 bis 5 Mark.

---

[1]) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 253; 1892, Seite 998.
[2]) Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 32.
[3]) Ebenda 1888, Seite 386; 1890, Seite 428.
[4]) Vergl. Literatur.

Aus den Kosten für verbrauchte Rohstoffe und Löhne, für Instandhaltung der Öfen und Geräte und den Insgemeinkosten setzen sich die Selbstkosten des erzeugten Flußeisens zusammen. Als durchschnittlichen Betrag der sämtlichen Schmelz- und Insgemeinkosten, welche der Ausgabe für Eisen hinzugerechnet werden müssen, damit man die Selbstkosten des erfolgenden Eisens erhalte, kann man für deutsche Verhältnisse etwa 20 Mark annehmen. Verarbeitet demnach ein Werk zur Darstellung von 1 t fertigen Eisens 250 kg Roheisen zu 55 Mark für 1 t, 820 kg schmiedbares Eisen zum Durchschnittspreise von 45 Mark, 8 kg Eisenmangan zu 200 Mark für 1 t, so würden die Selbstkosten des fertigen Metalls ungefähr betragen:

250 kg Roheisen zu 55 Mark	13	Mark	75	Pf.
820 kg schmiedbares Eisen zu 45 Mark	36	„	90	„
8 kg Eisenmangan zu 200 Mark . .	1	„	60	„
Schmelzkosten	20	„	—	„
zusammen	72	Mark	25	Pf.

Beim basischen Betriebe pflegen trotz des etwas höheren Aufwandes für die Herstellung und Instandhaltung des Herdes sowie der Ausgabe für den Kalkzuschlag die Selbstkosten etwas niedriger als bei dem sauren Verfahren unter übrigens gleichen Verhältnissen auszufallen, da man billigeres Eisen benutzen kann und auch der Brennstoffverbrauch in der Regel geringer ist.

h) Die Erzeugnisse.

Das Metall.

Was über die Eigentümlichkeiten des Bessemer- und Thomasmetalls auf Seite 339 III gesagt wurde, gilt auch vom Martinmetalle. So wenig wie der Bessemer- und Thomasstahl ist der Martinstahl imstande gewesen, den Tiegelstahl zu verdrängen, wo das höchste Maß von Vorzüglichkeit erste Bedingung der Verwendbarkeit war; aber neben letzterem hat jener für gröbere Werkzeuge, Federn und andere Dinge nicht selten Benutzung gefunden, wo sein geringerer Preis mit berücksichtigt werden konnte. Erheblich wichtiger aber als die Herstellung von Stahl ist auch beim Martinbetriebe in den letzten Jahrzehnten die Erzeugung des weichen Metalls, des Flußeisens im engeren Sinne, geworden, welches, das Schweißeisen an Zähigkeit und Festigkeit übertreffend, an dessen Stelle eine umfangreiche Verwendung für Bauwerkeisen aller Art, Bleche, Walzdraht und andere Walzwerkserzeugnisse gefunden hat. Daß gerade für diesen Zweck der basische Betrieb geeigneter sei als der saure, folgt aus dem früher Gesagten, und erst seit Einführung und Vervollkommnung des basischen Verfahrens ist es möglich geworden, dem Erzeugnisse des Martinofens die jetzige Bedeutung zu erringen.

Häufig war man in früherer Zeit der Meinung, daß das Martinmetall dem Bessemer- und Thomasmetalle an Güte, insbesondere an Zuverlässigkeit bei der Verwendung zu baulichen Zwecken, überlegen sei. Man begründete die Annahme damit, daß das Martinschmelzen langsamer vonstatten geht als das Windfrischen,

man deshalb besser befähigt sei, das Verfahren durch öftere Entnahme von Proben zu überwachen und zu regeln, und daß die beim Windfrischen stattfindende innige Berührung des Metalls mit dem hindurchgehenden Winde Gelegenheit zu einer Verschlechterung der Beschaffenheit geben könne. Vergleichende Versuche und Beobachtungen, welche in den siebenziger und achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts angestellt wurden, schienen die Berechtigung jener Annahme zu erweisen[1]). Seit jener Zeit aber hat der Betrieb des Thomasverfahrens, welches in Deutschland einen erheblichen Teil alles Bauwerkeisens liefert, wesentliche Fortschritte gemacht. Neuere Versuche haben dargetan, daß beide Flußeisenarten, insbesondere bei der Verwendung zu baulichen Zwecken, als gleichwertig betrachtet werden müssen[2]).

Umfangreichere Verwendung als das Birnenmetall findet dagegen das Martineisen zur Herstellung von Formguß. Mitunter benutzt man den nämlichen Ofen zur Herstellung von Blöcken für das Walzwerk und von Formguß, indem man nach beendigtem Schmelzen das für ersteren Zweck bestimmte Metall absticht und alsdann dem im Herde gelassenen Reste noch Zusätze gibt (Spiegeleisen, Siliciumeisen), welche dem Metalle die für Formgußerzeugung geeignetere Zusammensetzung verleihen. Wo man den Martinofen ausschließlich für eine Formgießerei betreibt, bei welcher es weniger auf Erzeugung weichen und dehnbaren Materials ankommt, arbeitet man gerne auf saurem Herd, da hierbei die für kleinere Betriebe umständliche Herstellung oder Beschaffung basischer Masse in Fortfall kommt, und ein brauchbarer Quarzsand für die Herdmasse leichter zu beschaffen ist.

Daß man heute aber auch für die Formgießereien den basischen Ofen überall da bevorzugt, wo es sich um größte Reinheit, Weichheit und Geschmeidigkeit des Erzeugnisses handelt, wurde bereits erwähnt.

In jedem Falle verwendet man einen verhältnismäßig manganreichen Einsatz (Mangangehalt 1,0 bis 1,5 v. H.), so daß auch am Ende des Schmelzens noch eine gewisse Menge Mangan im Eisen sich befindet, und gibt auch schließlich einen reichlichen Zusatz von Eisenmangan und Siliciumeisen[3]). Das fertige Metall in den Gußstücken pflegt 0,20 bis 0,60 v. H. Kohlenstoff, 0,50 bis 1,00 v. H. Mangan, 0,20 bis 0,60 v. H. Silicium und höchstens 0,10 v. H. Phosphor zu enthalten, z. B.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium
Schuhe des Eiffelturms	0,22	0,52	0,20
Maschinen und Bauteile aus deutschen Gießereien, im Mittel	0,40	1,00	0,40
Getriebe, im Mittel	0,50	0,70	0,25

Alle Formgußstücke müssen, nachdem sie in der Putzerei von anhängender Formmasse befreit wurden, geglüht werden. Dieser

[1]) Zentralblatt der Bauverwaltung 1889, Seite 339; Deutsche Bauzeitung 1890, Seite 203; „Stahl und Eisen" 1889, Seite 814; 1891, Seite 804 und 901.

[2]) „Stahl und Eisen" 1891, Seite 707; 1892, Seite 279, 558, 593; 1893, Seite 275.

[3]) Beispiel: „Stahl und Eisen" 1891, Seite 457.

überaus wichtige Teil der Formguß-Herstellung bezweckt nicht nur die Beseitigung von Spannungen, sondern auch die Erzeugung eines feinkristallinischen Gefüges, welches erst die edelen Eigenschaften eines guten Formgusses zum Vorschein kommen läßt (Seite 7 III). Bei gutem und sorgfältig geglühtem Material von etwa 50 kg Zugfestigkeit lassen sich angegossene Probestäbe quadratischen Querschnitts von 25 mm Seite, ohne zu brechen, derart zusammenbiegen, daß die beiden Schenkel des Probestabes aufeinanderliegen. Die Längenausdehnung pflegt bei 200 mm Versuchslänge 20—30 v. H. zu betragen[1]).

Außer den schon auf Seite 369 III gegebenen Beispielen mögen die folgenden die Zusammensetzung der Endschlacken des sauren Verfahrens veranschaulichen.

Endschlacken des sauren Verfahrens.

	Kieselsäure	Tonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul	Kalkerde, Magnesia
Aus einem für Versuche bestimmten 1 t-Ofen in Riesa bei Darstellung von Eisen mit 0,10 v. H. Kohlenstoff ohne Erzzusatz (1881)	44,70	3,04	2,85	49,10	n.best.
Aus einem 8 t-Ofen in Gutehoffnungshütte bei Darstellung von Eisen mit 0,11 v. H. Kohlenstoff mit Erzzusatz (auf 8 t Einsatz 100 kg Erz (1882), von mir untersucht . .	46,00	2,23	9,30	41,64	0,30
Schlacke eines amerikanischen Ofens beim Betriebe ohne Erzzusatz erfolgt; nach Campbell[2])	50,78	n.best.	19,60	27,98	n.best.
Wie vorstehend, jedoch beim Betriebe mit reichlichem Erzzusatze erfolgt	49,82	„	16,60	30,22	„

Sie enthalten demnach im Mittel etwa 50 v. H. Kieselsäure, 30 v. H. Eisenoxydul, 15 v. H. Manganoxydul, übrigens Tonerde und alkalische Erden aus dem Ofenfutter. Sie sind ähnlich zusammengesetzt wie die des Bessemerverfahrens, durchschnittlich aber ärmer an Mangan, da auch der Einsatz manganärmer ist. Man benutzt sie, wo die Martinhütte sich in unmittelbarer Nähe einer Hochofenlage befindet, mitunter ihres Eisen- und Mangangehalts halber als Zusatz für die Hochofenbeschickung.

Die Zusammensetzung der Endschlacken des basischen Martinverfahrens kann durch die auf Seite 378 folgenden Beispiele (außer den auf Seite 371 und 372 III gegebenen) Erläuterung finden.

Ihr Phosphorgehalt ist demnach erheblich geringer als derjenige der Thomasschlacken, so daß sie als Düngemittel meistens unverwertbar sind. Man setzt sie zur Wiedergewinnung ihres Mangan- und Phosphorgehalts wohl den Hochofenbeschickungen zu. Verschmelzt man aber ein phosphorreiches Roheisen mit Zusätzen

[1]) Beispiele: „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 458.
[2]) Vergl. Literatur.

Endschlacken des basischen Verfahrens.

	Kieselsäure	Phosphorsäure	Tonerde	Manganoxydul	Eisenoxydul (FeO)	Eisenoxyd (Fe_2O_3)	Kalkerde	Magnesia
Schlacke von Rešicza, ohne Erzzusatz erfolgt, nach Gouvy[1])	10,28	1,17	8,45	6,88	14,98	—	55,65	4,15
Schlacke eines englischen Eisenwerks, nach Gillot[2]) . . .	13,64	0,81	2,28	8,76	18,57	1,27	39,70	11,75
Schön kristallierte Schlacke aus Riesa (1894), von mir untersucht	31,80	2,62	3,32	6,26	9,31	—	33,11	11,25
Schlacke eines amerikanischen Eisenwerks, nach Campbell[3])	22,59	2,29	n.best.	n.best.	13,54	—	39,52	14,78
Wie vorstehend	17,05	2,88	„	„	27,63	—	34,57	14,23
Schlacke von Saint-Chamond (1885), bei Verarbeitung eines Einsatzes mit 0,25 v. H. Phosphor erfolgt, nach Lodin[4]) .	16,25	9,40	1,30	15,06	8,45	8,87	34,88	4,72

von Erzen und Kalk und teilt die Arbeit nach Bertrand-Thiels Verfahren, so lassen sich, wie schon erwähnt, im ersten Ofen Schlacken gewinnen, welche 16 bis 20 v. H. Phosphorsäure enthalten, also den Thomasschlacken gleichwertig sind. So z. B. enthielt:

	Kieselsäure	Phosphorsäure	Eisen
die Endschlacke des ersten Ofens bei Verarbeitung des Einsatzes, dessen Veränderungen durch die Analysen auf Seite 368 III veranschaulicht wurden . .	19,16	18,88	6,00
und die Endschlacke des zweiten Ofens bei Verarbeitung desselben Einsatzes[5]) . .	13,00	4,99	13,50

Literatur.

a) Einzelne Werke.

B. Neumann, Elektrometallurgie des Eisens.
Henry Marion Howe, The Metallurgy of Steel. New York 1890.
E. F. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. Band 3. Leipzig 1892, Seite 252—338, 337—554.

b) Abhandlungen.

Über die Eigenschaften des Flußeisens und die Erzielung dichter Güsse.

Brinell & Wahlberg, Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf die Blasenbildung im Flußeisen. „Stahl und Eisen" 1903, S. 46.

[1]) „Stahl und Eisen" 1889, Seite 400.
[2]) Ebenda 1885, Seite 94, nach Engineerung and Mining Journal.
[3]) Fußanmerkung 1 auf Seite 364 III.
[4]) Bulletin de la société de l'industrie minérale, Reihe 3, Band 3, Seite 1477. Die Abhandlung enthält auch die Zusammensetzung von Schlackenproben während des Verlaufes des Schmelzens.
[5]) Sonstige Beispiele: „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1311.

H. Harmet, On the compression of steel by wire-drawing during solidification in the ingot. The Journal of the Iron and Steel Institute 1902, II, Seite 146.

J. Riemer, Ein neues Verfahren zum Verdichten von Stahlblöcken im flüssigen Zustande. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1196; 1904, Seite 392 und 1906, Seite 185.

Anwendung der Aluminothermie für die Erzielung dichter Güsse. Dinglers Polytechn. Journal 318, Seite 758.

Zur Frage der Vermeidung von Lunkerbildung. „Stahl und Eisen" 1907, Seite 1117.

F. O. Beikirch, Verfahren zum Verhüten der Lunkerbildung in schweren Rohstahlblöcken. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 865.

C. Johns, Notes on the production and thermal treatment of steel in large masses. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904 I, Seite 61; auch „Stahl und Eisen" 1905, Seite 1245.

Wiecke, Wärmebehandlung von Stahl in großen Massen. „Stahl und Eisen" 1906, Seite 42.

Dr. Kollmann, Die Eigenschaften, Darstellung und Verwendung des Flußeisens. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleisses 1880, Seite 211.

D. K. Tschernoff, Untersuchungen über die Struktur der Stahlingots. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 307.

A. Martens, Das mikroskopische Gefüge von Flußeisen in gegossenen Blöcken. Mitteilungen der königl. techn. Versuchsanstalt 1893, Seite 274.

G. S. Snelus, The distribution of elements in steel-ingots. The Journal of the Iron and Steel Institute 1881 I, Seite 379; daraus in Glasers Annalen, Band 9, Seite 179.

W. Cheever, The segregation of impurities in Bessemer Steel ingots. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 13, Seite 167.

A. Ledebur, Altes und Neues vom Eisen (Saigerung). „Stahl und Eisen" 1886, Seite 143.

H. Eccles, An imperfection in mild steel plates. The Journal of the Iron and Steel Institute 1888 I, Seite 70; auch „Stahl und Eisen" 1888, Seite 740.

A. Ledebur, Über fehlerhafte Stellen in Zerreißproben aus Flußeisen. „Stahl und Eisen" 1889, Seite 13.

A. Martens, Saigerung in Eisen- und Stahlgüssen. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 797.

A. Ruhfus, Über Saigerungen im Flußeisen. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 41.

A. R. v. Dormus, Studien und Betrachtungen über Ungleichmäßigkeitserscheinungen des Stahlschienenmaterials. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1896, Seite 191, 205, 221.

A. R. v. Dormus, Weitere Studien über Schienenstahl. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1898, Seite 635, 648, 665, 678, 697.

A. Wahlberg, Schwankungen von Kohlenstoff und Phospor im Flußeisen. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 82 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II).

A. Riemer, Inhomogenität der weichen basischen Martinblöcke. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 269.

F. C. G. Müller, Über die Aufblähung der Flußeisenblöcke während des Walzens. „Stahl und Eisen" 1885, Seite 79.

Über verschiedene Verfahren zur Herstellung dichter Stahlgüsse. „Stahl und Eisen" 1889, Seite 766.

Über verschiedene Methoden zum Gießen kleiner Flußeisenblöcke. „Stahl und Eisen" 1887, Seite 443.

A. Ledebur, Über den Sauerstoffgehalt des Flußeisens. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 376.

R. Schanzer, Über geheimnisvolle Brüche von Stahlwellen. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1089.

Knut Styffe, Aluminium als Raffinierungsmittel für andere Metalle. Aus Jernkontorets Annaler in „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 311.
C. v. Geijerstam, Über Aluminium als Zusatz zum Flußeisen. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 395.
W. Annable, Über das Pressen des flüssigen Stahls. Glasers Annalen, Band 10, Seite 270.
F. Gautier, Über das Pressen des flüssigen Stahls. „Stahl und Eisen“ 1882, Seite 385.
Die Einrichtung zur Komprimierung des Stahls in den Barrowwerken. Zeitschrift des berg- und hüttenm. Vereins für Steiermark und Kärnten 1880, Seite 329.
F. D. Allen, Über die Anwendung eines mechanischen Rührwerkes in der Fabrikation des Bessemerstahls. Glasers Annalen, Band 9, Seite 178; „Stahl und Eisen“ 1883, Seite 342.
Beutter, Dichten des Stahls. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 857.
W. H. Greenwood, On the treatment of steel by hydraulic pressure. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Band 98, Seite 6 (1889).
A. Thielen, Über Darbys Rückkohlungsprozeß. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 920.
H. Wedding, Die Kohlung des Flußeisens. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 465; 1895, Seite 570.
F. J. Tone, Verwendung von Siliciumcarbid in der Stahlfabrikation. Aus Iron Age in „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 207.

Über Gießvorrichtungen, Gußformen und Formgußdarstellung.

B. Osann, Stahlformguß und seine Verwendung. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 99.
F. Fröhlich, Maschinelle Einrichtungen der Stahlwerke. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1903, Seite 421, 520.
G. Stauber, Hebe- und Transportmittel in Stahl- und Walzwerksbetrieben. „Stahl und Eisen“ 1907, Seite 965.
Hebezeuge und Spezialmaschinen für Hüttenwerke. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 925.
Elektrisch betriebener Gießwagen für 20 tons Pfanneninhalt. Stahl und Eisen“ 1904, Seite 1435.
P. Rensch, Haltbarkeit der Kokillen. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 375.
A. Messerschmidt, Über das Formen der Stahlwerkskokillen und deren Haltbarkeit. „Stahl und Eisen“ 1906, Seite 220, 283.
Kokillen für Profilblöcke. „Stahl und Eisen“ 1907, Seite 1297.
Verteilung des Schwefels in Kokillen. „Stahl und Eisen“ 1907, Seite 789.
Der Druckwasserbetrieb in Hüttenwerken. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 410.
Lokomotiv-Gießwagen. „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 569.
Gießpfannenwagen für 20000 kg Pfanneninhalt. „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 643.
Elektrisch angetriebener Gießpfannenwagen für 20 t Pfanneninhalt. „Stahl und Eisen“ 1901, Seite 275.
A. Schuchardt, Gießrollkran. „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 80.
Neuerungen in der Darstellung und Verarbeitung des Flußeisens. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1889, Seite 125.
R. M. Daelen, Über verschiedene Einrichtungen in den Stahl- und Walzwerken Deutschlands. „Stahl und Eisen“ 1890, Seite 1040.
A. Ledebur, Über Stahlformguß. „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 452.
H. L. Gantt, Über Fortschritte in der Stahlgießerei. „Stahl und Eisen“ 1894, Seite 160.
R. Smith-Casson, On small cast-steel ingots. The Journal of the Iron and Steel Institute 1895 II, Seite 210.
O. Simmersbach, Über die Haltbarkeit der Stahlwerkskokillen. „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 10.

Über Flußeisendarstellung aus Erzen.

F. Peters, Fortschritte der Elektrometallurgie. Berg- und hüttenm. Zeitung 1903, Seite 37.
Dr. B. Neumann, Die Herstellung von Eisen und Stahl auf elektrischem Wege. Berg- und hüttenm. Zeitung 1903, Seite 481.
Dr. B. Neumann, Die elektrothermische Erzeugung von Eisen und Eisenlegierungen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 682, 761, 821, 883, 944; 1905, Seite 90.
E. Haanel, Report of the Commission appointed to investigate the different electro-thermic processes for the smelting of iron ores and the making of steel in operation in Europe. Ottawa 1904. (Auszug in „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1460.)
W. Schmidhammer, Über den gegenwärtigen Stand der elektrischen Eisen- und Stahlerzeugung. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1904, Seite 613.
H. Le Chatelier, Fragilité de l'acier. Revue de métallurgie 1904 II, Seite 617.
V. Engelhardt, Das Kjellinsche Verfahren zur elektrischen Erzeugung von Stahl. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 148, 205, 272,
Dr. B. Neumann, Betriebsergebnisse einiger elektrischer Eisen- und Stahlprozesse. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 536.
W. Borchers, Über den gegenwärtigen Stand der elektrischen Eisen- und Stahlerzeugung. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 631, 689.
Dr. A. Neuburger, Das Stassanosche Verfahren zur Gewinnung von Eisen und Stahl auf elektrischem Wege. Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1905, Seite 334.
Dr. A. Neuburger, Die Herstellung von Eisen und Stahl auf elektrischem Wege und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Sitzungsbericht des Vereins z. Beförd. des Gewerbefleißes 1905, Seite 81.
V. Engelhardt, Über Gewinnung von Stahl im elektrischen Ofen unter besonderer Berücksichtigung des Kjellinschen Induktionsverfahrens. Österr. Zeitsch. für Berg- und Hüttenwesen 1905, Seite 399, 419, 431, 444, 461, 470.
Fritz Cirkel, Die Herstellung von Roheisen im elektrischen Ofen. „Stahl und Eisen" 1906, Seite 1369.
J. v. Ehrenwerth, Zur direkten Darstellung von Stahl. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1882, Seite 279.
J. v. Ehrenwerth, Zur direkten Eisenerzeugung. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 299; 1892, Seite 224.
Bull's Iron and Steel direct process. Iron, Bd. 21, Seite 89; „Stahl und Eisen" 1882, Seite 325.
Darstellung von Eisen und Stahl auf elektrometallurgischem Wege. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1900, Seite 340.
Direkte Darstellung von Stahl durch Elektrizität. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1022 (aus Iron Age vom 17. Juli 1902).

Über Tiegelstahldarstellung.

J. Bischoff, Über Werkzeug-Gußstahl. Zeitschrift des Ver. deutscher Ingenieure 1885, Seite 780.
F. C. G. Müller, Über den Einfluß des Siliciums auf die Beschaffenheit des Werkzeugstahls. „Stahl und Eisen" 1888, Seite 375.
Otto Thallner, Verbesserter Martinstahl oder Tiegelstahl. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 868, 914.
Otto Thallner, Tiegelstahl. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, Seite 422.
H. Seebohm, Über die Darstellung des Tiegelgußstahls. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 660 (aus The Journal of the Iron and Steel Institute 1884 II, Seite 372).
M. Boeker, Werkzeugstahl, seine Herstellung und Verwendung. „Stahl und Eisen" 1886, Seite 33.
A. Ledebur, Zur Theorie des Tiegelstahlprozesses. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 603.

A. Ledebur, Über das Verhalten des Mangans beim Tiegelschmelzen. „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 370.
F. C. G. Müller, Untersuchungen über den Tiegelstahlprozeß. „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 180; 1886, Seite 695.
A. Brand, Einige Beiträge zur Kenntnis der Vorgänge bei Stahlschmelzprozessen in sauren und basischen Tiegeln. Berg- und hüttenm. Zeitung 1885, Seite 105.
A. Ledebur, Über Darstellung von Werkzeugstahl auf steirischen und niederösterreichischen Werken. „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 1.
A. Harpf, Die Tiegelstahlfabrik von J. Brauns Söhne in Schloß Schöndorf. Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1899, Seite 253.
P. Oestberg, Mitis-castings. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 14, Seite 773.
J. Henrotte, Note sur le fer mitis fondu par le procédé Nordenfelt. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 3, Seite 190 (1888).

Über das Bessemer- und Thomasverfahren.

The Genesis of the Bessemer Process. The Iron and Steel Magazin, Vol X, 1905, p. 481.
Chemischer Verlauf des Bessemerns. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 563.
H. Schulz & J. Schönava, Neuerung bei der Herstellung basischer Converterböden. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 396.
Dolomitanlagen für Stahlwerke. „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 1201.
Die neue Dolomitanlage der Georgs-Marienhütte, Osnabrück. „Stahl und Eisen“ 1907, Seite 1066.
Neue Converter-Gebläsemaschinen. „Stahl und Eisen“ 1907, Seite 523, 933.
H. Wedding, Die Kleinbessemerei in Verbindung mit Martinofenbetrieb. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes 1905, Seite 259.
van Gendt, Die Bedeutung der Kleinbessemerei für die Eisenhüttenindustrie. „Stahl und Eisen“ 1905, Seite 1446; 1906, Seite 104.
Unkenbolt, Einiges über Kleinbessemerbetrieb und seine Gestehungskosten. „Stahl und Eisen“ 1903, Seite 1227.
R. M. Daelen, Über neuere Gebläse für Bessemer-Stahlwerke. „Stahl und Eisen“ 1888, Seite 433.
Der Clapp-Griffiths-Process in Amerika. „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 172.
K. Sorge, Notizen über den Clapp-Griffiths-Process in den Vereinigten Staaten. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 316.
J. Hardisty, On modifications of Bessemer converters for small charges. The Journal of the Iron and Steel Institute 1886 II, Seite 651.
A. Pourcel et F. Valton, Note sur le convertisseur Bessemer dit Robert. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 13, Seite 146.
Ch. Walrand, Erzeugung von Flußeisen im Converter von Walrand-Delattre. „Stahl und Eisen“ 1887, Seite 390.
W. Stercken, Die Kleinbessemerei und ihre Fortschritte. Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1887, Seite 489.
O. Vogel, Kleinbessemerei. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1892, Seite 406.
R. M. Daelen, Das Verfahren zum Überhitzen des Eisens in der Birne von Walrand und Legénisel. „Stahl und Eisen“ 1893, Seite 830; 1896, Seite 704.
G. S. Snelus, The Walrand-Legénisel process as applied to steel castings. The Journal of the Iron and Steel Institute 1894 I, Seite 26.
C. Pixis, The Tropenas steel converter. Engineering and Mining Journal, Band 63 (1897), Seite 425.
The Tropenas-steel-making-process. Engineering, Band 65, Seite 43.
Otto Vogel, Über neuere Kleinbessemerbirnen. „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 183.
C. Rott, Die Kleinbessemerei für Stahlformguß und Temperguß. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1900, Seite 144.

C. Rott, Die Kleinbessemerei und ihre Bedeutung für den Gießereibetrieb. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 999.

B. Versen, Herstellung der Birnenböden durch maschinelle Stampfer. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 1089; 1893, Seite 919.

Ljunggren, Die Auskleidung der Thomasconverter. Aus Jernkontorets Annaler in der Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1895, Seite 453.

Über den Thomasprozeß in Belgien. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 101 (enthält Skizzen verschiedener Anordnungen der Thomashütten).

An 1893 Bessemer Steel Works. Iron Age Band 52, Seite 891; daraus in „Stahl und Eisen" 1894, Seite 16.

A. v. Ihering, Die Bessemereianlage von Carnegie Brothers und Edgar Thomson in Homestead bei Pittsburg. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 250.

Das Johnson-Stahlwerk in Lorain. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 901.

S. Smeysters, Les acieries de Charleroy et les petits convertisseurs. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 45 (1899), Seite 36.

Stammschulte, Neuerungen bei amerikanischen Stahlwerken. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 357, 442.

J. M. While, The Bessemer shop and heating pits at the Barrow Haematite Steel Company's Works. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 I, Seite 299.

H. M. Howe, Mitteilungen über den amerikanischen Bessemerprozeß. „Stahl und Eisen" 1890, Seite 1022.

R. Åkerman, Über das Bessemern in Schweden. „Stahl und Eisen" 1893, Seite 920.

A. Brovot, Verfahren zur Regulierung der Nachblasezeit beim Thomasprozeß. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 50.

Grassmann, Betrachtungen über den Abbrand beim Thomasprozeß. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 57.

Kintzlé, Der Thomasprozeß. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 381.

Malz, Der Bessemerprozeß. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 392.

F. C. G. Müller, Untersuchungen über den deutschen Bessemerprozeß. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1878, Seite 385, 453.

D. K. Tschernoff, Documents sur la fabrication de l'acier Bessemer. Revue universelle des mines, Reihe 2, Band 1, Seite 420; Band 4, Seite 56.

C. A. Casperson, Über den Einfluß des Wärmegrades der Bessemerchargen auf die Beschaffenheit der Stahlblöcke, nebst Betrachtungen von R. Åkerman. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 71.

G. J. Snelus, On the removal of phosphorus and sulphur during the Bessemer and Siemens-Martin processes, The Journal of the Iron and Steel Institute 1879 I, Seite 135.

S. G. Thomas and P. C. Gilchrist, On the elimination of phosphorus in the Bessemer converter. The Journal of the Iron and Steel Institute 1879 I, Seite 120.

S. G. Thomas und P. C. Gilchrist, Die Stahlerzeugung aus phosphorhaltigem Roheisen. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 294.

J. v. Ehrenwerth, Abhandlungen über den Thomas-Gilchristprozeß. Sonderabdruck aus der Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1879. Leoben 1879.

J. v. Ehrenwerth, Studien über den Thomas-Gilchristprozeß. Sonderabdruck aus der Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1880 und 1881. Wien 1881.

A. Tamm, The composition of the gases escaping from a Bessemer converter during the blow. Iron, Band 13, Seite 674, 707, 739, 771, 803, Band 14, Seite 2, 67, 98, 131.

W. N. Hartley and H. Ramage, On the spectra of flames at different periodes during the basic Bessemer blow. The Journal of the Iron and Steel Institute 1901 II, Seite 197.

E. Heyrowsky, Über Bessemern mit heißem Winde. Jahrbuch der österreichischen Bergakademien, Band 22, Seite 436.

J. Wiborgh, Anwendung warmen Windes beim Bessemern. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 13.
C. Scheibler, Über die Herstellung reicher Kalkphosphate in Verbindung mit einer Verbesserung des Thomasprozesses. Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1886, Seite 1883.
E. Schroedter, Das Scheiblersche Verfahren im Thomasprozesse. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 1097.

Über das Martinverfahren.

Das Talbot-Schmelzverfahren in Trodingham. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 170.
H. Wedding, Das Talbot-Verfahren in Trodingham. Verhandlungen d. Ver. z. Beförderung d. Gewerbefleißes 1904, Seite 329.
Schienen aus dem Talbotofen. „Stahl und Eisen" 1907, Seite 1137.
B. Talbot, On the development of the continuous openhearth process. The Journal of the Iron and Steel Institute 1903 I, Seite 57, in „Stahl und Eisen" 1903, Seite 682.
O. Simmersbach, Über neue elektrisch betriebene Beschickungsvorrichtungen für Herdöfen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 829.
A. Riemer, Manganerz als Entschweflungsmittel beim basischen Martinverfahren. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1357.
Unkenbolt, Neuerung an Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1275.
St. Surzycki, Ununterbrochenes Stahlschmelzverfahren in feststehenden Martinöfen. „Stahl und Eisen 1904, Seite 163.
F. W. Harbord, The metallurgy of steel. London 1904.
R. M. Daelen, Über verschiedene Verfahren zur Erzeugung von Flußeisen im Herdofen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 507.
Muldeneinsatzmaschine für Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1105.
R. Genzner, Mitteilungen über die Flußeisendarstellung im Siemens-Martinofen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1418.
C. Stobrawa, Das Fertigmachen der Martinchargen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 30.
A. Mc. William and W. H. Hadfield, Acid open-hearth manipulation. The Journal of the Iron and Steel Institute 1904 II, Seite 206.
New open-hearth steel works of the Illinois Company. Iron Age Vol. 75 (1905), p. 722.
O. Simmersbach, Die Herdofenstahlerzeugung aus flüssigem Roheisen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 699, 769.
C. Canaris, Chemische Vorgänge beim kombinierten Bessemer-Martinverfahren in Witkowitz. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 1125.
J. H. Darby and G. Hatton, Recent developments of the Bertrand-Thielprocess. The Journal of the Iron and Steel Institute 1905 I, Seite 122.
C. Dickmann, Über die Verarbeitung flüssigen Roheisens im basisch zugestellten Martinofen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 1337, 1429.
O. Simmersbach, Bau- und Konstruktionsverhältnisse amerikanischer Herdofenstahlwerke. Berg- und Hüttenmännische Rundschau 1906, Seite 93.
F. W. Harbord, Some preliminary experiments on the removal of metalloids in the basic Siemens furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1886 II, Seite 700 (auch „Stahl und Eisen" 1886, Seite 811).
W. Sóltz, Die Martinöfen und die Martinstahlfabrikation. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1893, Seite 1.
R. M. Daelen, Die Erzeugung von Flußeisen in Nordamerika. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1891, Seite 122; „Stahl und Eisen" 1891, Seite 93.
E. G. Odelstjerna, Die Herstellung von Martinflußeisen in Schweden. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 697.

W. Schmidhammer, Studie über Gas- und Luftzuführungen bei Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 751.
Martinofenanlage und Blechwalzwerk der Illinois-Steel-Company. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 797.
H. Campbell, The physical and chemical equations of the open-hearth-process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 19, Seite 128.
C. Campbell, The open-hearth-process. Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band 22, Seite 345; im Auszuge in „Stahl und Eisen" 1893, Seite 869.
Springorum, Der Martinprozeß. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 396.
R. Johannsson, Der basische Martinprozeß in Westfalen. Aus Jernkontorets Annaler in der Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1898, Seite 675.
K. Poech, Mitteilungen über die Stahlerzeugung im basischen Martinofen. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 331.
Neuer 50 t-Siemens-Martinofen der Barrow-Steelworks. Aus Iron and Coal Trades Review in „Stahl und Eisen" 1899, Seite 1016.
Ein kippbarer Martinofen. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 1028.
A. P. Head, On tilting open-hearth furnaces. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899 I, Seite 69; in deutscher Bearbeitung: Kippbare Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1899, Seite 536.
P. Eyermann, Zur Frage der kippbaren Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 310.
R. M. Daelen und L. Pszczolka, Über neuere Formen von Herdschmelzöfen für Flußeisen. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 50.
H. Illies, Amerikanische Siemens-Martinanlagen. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 645, 713.
Das Stahl- und Walzwerk Rendsburg. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 805.
Maschinelle Einrichtungen auf amerikanischen Stahlwerken (Beschickungsvorrichtungen). „Stahl und Eisen" 1891, Seite 305.
Beschickungsvorrichtungen für Martinöfen. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 669 und 950; 1897, Seite 708 und 857.
Elektrische Ausrüstung von Beschickungsvorrichtungen. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 1042.
Dr. Weeren, Beschickungsvorrichtungen für Martinöfen. Dinglers polyt. Journal, Band 307, Seite 108.
J. v. Ehrenwerth, Über den Martinprozeß mit ausschließlicher Verwendung von Roheisen und Erzen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1886, Seite 622.
Thiel, Der Bertrand-Thiel-Prozeß. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 403 und 733; 1898, Seite 146; österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1897, Seite 15 und 73.
O. Thiel, Thomas- oder Bertrand-Thiel-Prozeß? „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1305.
J. W. Cabot, The Bertrand-Thiel-Process. Iron Age vom 2. Mai 1901, Seite 15.
A. Ledebur, Betrachtungen über das Bertrand-Thiel-Verfahren. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 36.
Talbots kontinuierlicher Siemens-Martinprozeß. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 263 (aus Iron Age, Band 65).
W. Schmidhammer, Eine besondere Art des Erzprozesses im Martinofen. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 651.
E. H. Saniters Entschweflungsverfahren. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 616.
F. E. Thompson, Über den Schwefel im Flußeisen. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 413.
Stille, Der Schwefel im Martinprozeß. Aus Jernkontorets Annaler in der österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1899, Seite 246; „Stahl und Eisen" 1899, Seite 325.

V. Das Glühfrischen.

1. Allgemeines.

Unter der Bezeichnung Glühfrischen versteht man Entkohlung des Roheisens durch Glühen in sauerstoffabgebenden Körpern ohne Schmelzung.

Das Verfahren ist schon ziemlich alt und wurde bereits im siebzehnten Jahrhundert, vielleicht noch früher, geübt. Die erste Beschreibung findet sich in dem Werke Réaumurs, *L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, Paris 1722*, sowie in dem anderen Buche desselben Verfassers: *Nouvel art d'adoucir le fer fondu et de faire des ouvrages de fer fondu aussi finis que de le fer forgé.* In Großbritannien erhielt Samuel Lucas im Jahre 1804 ein Patent auf das Verfahren, Gußeisen durch Glühen in Erzen — wie es heute noch geschieht — schmiedbar zu machen [1]). Seitdem hat das Verfahren eine ziemlich starke Verbreitung gefunden; vorzugsweise wird es von Eisengießereien betrieben, welche es benutzen, um neben den Gußwaren aus grauem Roheisen auch solche aus schmiedbarem Eisen liefern zu können, ohne dafür Flußeisen erzeugen und vergießen zu müssen, oder wo zu geringe Abmessungen der Gußstücke die Verwendung von Flußeisen unmöglich machen.

Nicht selten verwechselte man in früherer Zeit das Glühfrischen mit einem seinem äußeren Verlaufe nach ähnlichen Verfahren, dem Ausglühen gegossener Gegenstände in Körpern, die eine chemische Einwirkung nicht ausüben und nur die Berührung mit der Luft verhindern sollen, Holzkohle, Asche oder dergleichen. Hierbei wird nur die Kohlenstofform geändert: Härtungskohle wandelt sich in Karbidkohle, bei langem Glühen in Temperkohle um (Seite 328 I). Hartes Eisen wird weich, feilbar (Seite 8 II). In Eisengießereien, welche dünne, beim Eingießen des Gußeisens in Sandgußformen leicht hart werdende Gegenstände erzeugen, macht man bisweilen noch heute von diesem einfacheren Verfahren Anwendung: man glüht die hart gewordenen Gegenstände längere Zeit bei Luftabschluß, und sie werden dadurch leichter bearbeitbar, weniger spröde.

Wegen der Ähnlichkeit beider Verfahren und ihres Erfolges hat man beiden den gemeinschaftlichen Namen Tempern gegeben. Den eigentlichen Unterschied erkannte man erst, nachdem das Verfahren schon lange Zeit geübt worden war.

In den allermeisten Fällen unterwirft man, wie schon erwähnt, Gußwaren dem Glühfrischen, d. h. Gegenstände, welche schon zuvor durch Gießen eine ihre Verwendung zum sofortigen Gebrauche ermöglichende Form erhalten haben, und man nennt in diesem Falle das Erzeugnis schmiedbaren Guß [2]). Vor den gewöhnlichen, nicht durch Glühen entkohlten Gußwaren (dem Grauguß) zeichnen sich die Gegenstände aus schmiedbarem Guß,

---

[1]) Ludwig Beck, Die Geschichte des Eisens, Band 4, Seite 109.

[2]) Eine für größere derartige Gußwaren bisweilen angewendete Bezeichnung ist Temperstahlguß.

wie alles schmiedbare Eisen, durch größere Festigkeit und größere Zähigkeit aus. Der Vorteil des Verfahrens im Vergleiche zu der Erzeugung von Formguß aus Flußeisen beruht auf dem Umstande, daß die Darstellung brauchbarer Abgüsse aus Flußeisen kostspieliger ist als aus Roheisen[1]) und um so größeren Schwierigkeiten begegnet, je dünner die Querschnitte der zu gießenden Gegenstände sind, und je kohlenstoffärmer das zu vergießende Eisen ist, je rascher also die Erstarrung in den Gußformen sich vollzieht. Aus letzterem Grunde findet das Verfahren vornehmlich für die Erzeugung kleinerer Gußwaren Benutzung.

Vereinzelt hat man auch Roheisen, zu dünnen Platten ausgegossen, durch Glühfrischen entkohlt und das Erzeugnis, welches als Zusatz bei der Tiegelstahlerzeugung Verwendung fand, Glühstahl genannt[2]).

Das Verfahren des Glühfrischens wird überhaupt erst durch den Umstand möglich, daß bei dem Glühen des Eisens in Berührung mit sauerstoffabgebenden Körpern die Entkohlung sich nicht allein auf die Oberfläche des geglühten Eisenstückes beschränkt, sondern sich auch auf seine innersten Teile fortpflanzt, sofern das Glühen ausreichend lange fortgesetzt wird und die Temperatur entsprechend hoch ist. Eine Wanderung des Kohlenstoffs findet statt. Wenn am Rande des Eisenstückes die Menge des Kohlenstoffs sich verringert, fließt von innen her Kohlenstoff nach, damit Ausgleich stattfinde. Man kann sich einen Begriff des Vorganges machen, wenn man ihn sich derartig vorstellt, daß von Molekül zu Molekül des Eisens Kohlenstoff abgegeben wird, sobald das eine Molekül kohlenstoffärmer als das andere geworden ist; solcherart vollzieht sich während des Glühens eine unausgesetzte Bewegung des Kohlenstoffs von innen nach außen. Man kann daher auch eine ziemlich weitgehende Entkohlung herbeiführen, indem man die zu tempernden Gegenstände in einer Umhüllung von fein zerteiltem kohlenstoffarmen Eisen (z. B. Spitzen der Drahtstiften-Fabrikation) unter Luftabschluß glüht. Auch hier fließt der Kohlenstoff des Gußeisens in die kohlenstoffarme Umhüllung über, bis ein Gleichgewichtszustand hergestellt ist.

Der umgekehrte Vorgang, eine Wanderung des Kohlenstoffs von außen nach innen, bildet die Grundlage des später beschriebenen Zementierverfahrens.

Wird aber das Glühen vorzeitig unterbrochen, so bleiben die inneren Teile, der Kern, eines Eisenstückes kohlenstoffreicher als die der Oberfläche zunächst gelegenen; je dicker das Eisenstück ist, desto leichter ist eine solche Ungleichmäßigkeit wahrnehmbar, und eine desto längere Zeitdauer des Glühens ist erforderlich, um

[1]) Neben den höheren Erzeugungskosten des Flußeisens kommt hierbei in Betracht, daß beim Vergießen des Flußeisens die Eingüsse und verlorenen Köpfe (S. 236 III) größere Abmessungen erhalten müssen, wodurch das Gewicht der aufzuarbeitenden Abfälle gesteigert wird, daß ihre Lostrennung von den Abgüssen einen größeren Arbeitsaufwand erheist, und daß die Menge der entstehenden Ausschußstücke größer ist als beim Vergießen von Roheisen.

[2]) Das Verfahren ist durch Tunner eingeführt worden und war auf einigen steirischen Werken in Anwendung, ist aber jetzt erloschen.

eine gleichmäßige Entkohlung herbeizuführen. Auch aus diesem Grunde pflegt man das Verfahren auf die Verarbeitung von Eisenstücken mit dünneren Querschnitten (ihre Stärke beträgt selten mehr als 25 mm) zu beschränken.

2. Die Glühmittel.

Man benutzt als sauerstoffabgebende Körper fast immer, wie schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts, Eisenerze, deren Eisengehalt wenigstens zum Teil als Eisenoxyd Fe_2O_3 zugegen sein muß. Eisenoxyd gibt leicht einen Teil seines Sauerstoffgehalts ab, sich dabei in eine niedrigere Oxydationsstufe umwandelnd (Seite 294 I). Je reicher an Eisenoxyd die Erze sind, desto kräftiger ist demnach ihre Oxydationswirkung, desto rascher geht ihre Entkohlung vonstatten. Ein allzu rascher Verlauf aber ist nicht erwünscht. Das in dem erweichten Metalle sich entwickelnde Kohlenoxyd treibt dieses auf, ihm eine porige, schwammartige Beschaffenheit erteilend, oder es sondert sich wohl eine rasch weich gewordene Schale von einem noch hart gebliebenen Kerne. Da nun die Erze bei der Benutzung ohnehin an Sauerstoff verlieren, also an oxydierender Kraft einbüßen, mischt man frische und allzu kräftig wirkende Erze mit schon benutzten, um die Wirkung der ersteren abzuschwächen und die der letzteren zu erhöhen, oder man setzt den allzu eisenoxydreichen Erzen (Roteisenerzen) Körper zu, welche als Verdünnungsmittel zu wirken bestimmt sind, z. B. gebrannten Kalk; oder man benutzt von vornherein solche Erze, welche Eisenoxyd nur in beschränkter Menge enthalten, z. B. geröstete Spateisensteine. Sind die Erze zu arm an Eisenoxyd, so läßt sich durch Zusatz von Braunstein ihre Wirkung erhöhen. Die Wahl geeigneter Erze oder die Bereitung eines geeigneten Gemisches aus verschiedenen Erzen und Zusätzen ist eine wichtige Aufgabe für das gute Gelingen des Verfahrens, und oft sind zahlreiche Versuche erforderlich, bevor das Ziel erreicht wird.

Der Schwefelgehalt der angewendeten Glühmittel muß tunlichst gering sein, da das Eisen sonst leicht Schwefel aufnimmt und dadurch eine Verschlechterung seiner Eigenschaften erleidet.

Die Erze werden in gekörntem und gewaschenem Zustande verwendet, und zwar je nach der Größe der zu tempernden Gegenstände in Korngrößen von 2—6 mm.

Ein Glühen in atmosphärischer Luft, um durch deren Sauerstoffgehalt die Entkohlung bewirken zu lassen, würde den auf Seite 296 und 297 I geschilderten Erfolg haben: das Eisen würde zunächst mit einer Glühspanschicht sich überziehen und dann in Brandeisen sich umwandeln. Wird dagegen die Einwirkung des freien Sauerstoffs abgeschwächt, indem man das Eisen in pulverförmige, an und für sich untätig bleibende Körper einpackt (z. B. in Sand), zwischen deren einzelnen Körnern Luft eingeschlossen bleibt, so läßt sich Entkohlung ohne starke Oxydation des Eisens selbst erzielen, aber der Verlauf der Entkohlung ist ziemlich langsam. In solcher Weise wurde der oben erwähnte Tunnersche Glühstahl dargestellt.

Verschiedene sonstige Körper, von denen einige bei Besprechung des chemischen Verlaufs besondere Erwähnung finden werden, sind versuchsweise als Entkohlungsmittel benutzt worden, ohne jedoch imstande zu sein, die billigen und gut bewährten Eisenerze zu ersetzen.

3. Die erforderliche Zusammensetzung des Roheisens und das Schmelzen.

Der Einfluß des Glühfrischens erstreckt sich nur auf den nichtgraphitischen Kohlenstoffgehalt des Roheisens; Graphit wird höchstens da verbrannt, wo er in unmittelbarer Berührung mit dem Glühmittel sich befindet. Demnach muß weißes Roheisen für das Glühfrischen benutzt werden.

Ein Mangangehalt des Roheisens verzögert die Entkohlung. Ein von Forquignon[1]) versuchsweise benutztes Roheisen mit 1,78 v. H. Mangan und 3,79 v. H. Kohlenstoff enthielt selbst nach 72stündigem Glühen noch 3,08 v. H. Kohlenstoff. Gleiche Beobachtungen über den Einfluß des Mangans sind mehrfach gemacht worden. Ein Mangangehalt von 0,4 v. H. kann als Grenzwert betrachtet werden, unterhalb dessen das Verfahren noch gut durchführbar ist.

Ein reichlicher Siliciumgehalt würde Graphitbildung veranlassen. Aus diesem Grunde ist ein siliciumreiches Roheisen nicht anwendbar; ein mäßiger Siliciumgehalt (unter 1 v. H.) aber ist nützlich. Siliciumfreies weißes Roheisen schwindet beim Erstarren reichlich und hat deshalb eine starke Neigung zur Bildung von Hohlräumen (Seite 225 III). Es ist unmöglich, aus solchem Eisen Abgüsse zu erzielen, welche nicht da, wo die Erstarrung am längsten währte, Hohlstellen von verhältnismäßig erheblichen Abmessungen besäßen, bei der Schwindung entstanden und mit Tannenbaumkriställchen (Seite 283 I) ausgefüllt. Mitunter senkt sich an dieser Stelle die Oberfläche des noch weichen Metalls, der Luft einen Zutritt in den entstandenen leeren Raum gewährend, der Abguß saugt; in anderen Fällen werden die Fehlstellen erst bei der Prüfung des schon geglühten Gegenstandes erkannt. Die Innenflächen des Hohlraumes sind dann in der Regel dunkelblau oder schwarz angelaufen, und die Gießer, gewöhnlich unbekannt mit der eigentlichen Entstehungsursache, betrachten diese „schwarzen Stellen" als die gefährlichsten Feinde des Gelingens ihrer Arbeit. Durch einen mäßigen Siliciumgehalt des Roheisens wird seine Schwindung und somit seine Neigung zur Bildung jener Fehlstellen verringert. Andererseits läßt sich aus den Ergebnissen neuerer Untersuchungen[2]) schließen, daß ein Siliciumgehalt die Entkohlung beim Glühen befördere, und wenn diese Beobachtung Bestätigung findet, würde darin eine zweite Veranlassung liegen, ein siliciumhaltiges Eisen zu benutzen. In den besseren Proben schmiedbaren

---

[1]) Vergl. dessen unter Literatur aufgeführte Arbeiten.
[2]) „Stahl und Eisen" 1902, Seite 813.

Gusses findet man einen Siliciumgehalt von mindestens 0,4 v. H., mitunter 0,6 bis 0,8 v. H.

Damit aber das manganarme Roheisen durch jenen notwendigen Siliciumgehalt nicht zur Graphitbildung veranlaßt werde, darf sein Kohlenstoffgehalt nicht hoch sein. In einem gut brauchbaren Roheisen geht der Kohlenstoffgehalt nicht erheblich über 3,0 v. H. hinaus; mitunter beträgt er nicht mehr als 2,8 v. H. Nützlich ist ein niedriger Kohlenstoffgehalt auch insofern, als die für die Entkohlung erforderliche Zeitdauer dadurch abgekürzt wird; aber die Schwierigkeit des Gießens wächst, wenn der Kohlenstoffgehalt allzu tief sinkt.

Phosphor und Schwefel bleiben beim Glühen unverändert im Eisen zurück und beeinflussen dessen Eigenschaften ebenso wie die jedes anderen schmiedbaren Eisens. Daher darf auch der Gehalt des zu verwendenden Roheisens an diesen Körpern nicht hoch sein. 0,20 v. H. Phosphor und 0,10 v. H. Schwefel lassen sich als ein Maß bezeichnen, welches zweckmäßigerweise nicht überschritten werden sollte. Bei guten englischen, schottischen und schwedischen Roheisensorten beträgt dagegen der Phosphorgehalt nicht über 0,04 v. H., der Schwefelgehalt nicht über 0,02 v. H.

Einige Hochofenwerke, welche manganarme und phosphorarme Erze verhütten, erzeugen bei kaltem Gange des Hochofens Roheisen von der angegebenen Zusammensetzung. Leider gibt allerdings der zur Vermeidung allzu reichlicher Aufnahme von Silicium erforderliche kalte Gang im Verein mit dem geringen Mangangehalte der Beschickung vermehrte Gelegenheit zur Aufnahme von Schwefel, und manche dieser Roheisensorten enthalten bis 0,3 v. H. Schwefel. Da bei der Verwendung des schmiedbaren Gusses der durch Schwefel erzeugte Rotbruch ohne Belang ist, besitzt dieser hohe Schwefelgehalt allerdings nicht die Bedeutung, wie in anderem schmiedbaren Eisen, aber er bleibt immerhin unerwünscht, da er die Festigkeit und Zähigkeit des Erzeugnisses schmälert. Ein auch in Deutschland für die Erzeugung schmiedbaren Gusses geschätztes Roheisen wird in einigen Hochöfen Cumberlands aus den dort auftretenden Roteisenerzen (Seite 24 I) erzeugt. Im Übrigen läßt sich durch Vermischen verschiedener Roheisensorten, welche zusammen geschmolzen werden, oder durch Zusatz von schmiedbarem Eisen zu dem zu schmelzenden Roheisen häufig ein gut geeignetes Metall für die Erzeugung schmiedbaren Gusses gewinnen.

Da in jedem Falle dem Gießen ein Schmelzen vorausgehen muß, welches die Zusammensetzung des Eisens beeinflußt, und da die geeignete Zusammensetzung innerhalb ziemlich enger Grenzen sich bewegt, bietet dasjenige Schmelzverfahren die größte Gewähr für gutes Gelingen, bei welchem die stattfindenden chemischen Veränderungen am wenigsten durch Zufälligkeiten bedingt sind. Dieses Schmelzverfahren ist das Tiegelschmelzen, und bis vor wenigen Jahrzehnten war dieses in den Hütten für Erzeugung schmiedbaren Gusses fast ausnahmslos in Anwendung. Da das weiße kohlenstoffarme Roheisen häufig weniger Silicium enthält, als für den in Rede stehenden Zweck wünschenswert ist, beim

Tiegelschmelzen des Roheisens in hoher Temperatur aber sein Siliciumgehalt zunimmt (Seite 302 II), wird hierdurch noch eine Verbesserung erzielt.

Das Tiegelschmelzen aber ist kostspielig, und an seine Stelle ist aus diesem Grunde in der Jetztzeit häufig das Schmelzen im Kupolofen getreten. Hierbei findet stets Oxydation statt (Seite 321 II). Ein Teil des Siliciumgehalts des Einsatzes verbrennt; man wählt also diesen um so viel reicher an Silicium, als der stattfindenden Abnahme entspricht, und sucht durch reichlich bemessenen Brennstoffaufwand die Oxydationswirkung des entstehenden Gasstromes abzuschwächen. Mitunter löst man zur Deckung des Ausfalls Siliciumeisen in dem bereits geschmolzenen und überhitzten Metalle auf. Um der Entstehung eines allzu kohlenstoffreichen Eisens vorzubeugen, setzt man dem Einsatze reichliche Mengen schmiedbaren Eisens (Abfälle verschiedener Art) zu, welches ohnehin beim Schmelzen Kohlenstoff aufnimmt (Seite 324 II). Auf manchen Werken schmilzt man Einsätze aus 90 Teilen schmiedbaren Eisens neben nur 10 Teilen Graueisens oder Siliciumeisens.

Auch der Flammofen, zumal der Siemensofen, hat für den gleichen Zweck Verwendung gefunden[1]). Er gewährt den Vorteil, daß man weniger als beim Kupolofenschmelzen Gefahr läuft, ein zu kohlenstoffreiches Erzeugnis zu gewinnen, und daß man imstande ist, noch durch Zusätze am Schlusse des Schmelzens die Zusammensetzung zu regeln. Da die Oxydationswirkung dieser Öfen noch stärker ist als die der Kupolöfen, verarbeitet man gern manganreichere Einsätze, damit das Mangan durch seine eigene Verbrennung den Kohlenstoff schütze. Die Einrichtung der Öfen ist derjenigen der Martinöfen mit saurem Herde ganz ähnlich. In nordamerikanischen Gießereien für Erzeugung schmiedbaren Gusses werden solche Flammöfen vorwiegend benutzt[2]); aber sie erfordern einen Betrieb im großen Maßstabe, da sie sich nicht, wie die Kupolöfen, alltäglich kalt legen lassen, und sie machen höhere Anlagen und Unterhaltungskosten erforderlich.

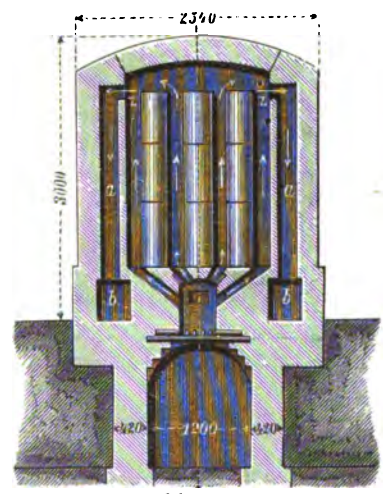
4. Die Temperöfen nebst Zubehör.

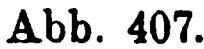
Die Einrichtung der zum Glühfrischen bestimmten Öfen ist ziemlich verschieden. Ein wesentlicher Unterschied beruht in der Art und Weise, wie das Einpacken der zu glühenden Gegenstände in das Glühmittel bewirkt wird. Zum Glühen kleinerer Gegenstände (schmiedbaren Gusses) benutzt man häufig gußeiserne Glühtöpfe, in neuerer Zeit solche aus Stahlformguß, welche außerhalb des Ofens gefüllt und dann eingesetzt werden. Noch häufiger geschieht das Füllen innerhalb der Öfen. Ihre Form ist zylindrisch, ihr Durchmesser gewöhnlich 250 bis 300 mm, ihre Höhe 300 bis 500 mm. Durch einen eisernen Deckel werden sie nach beendigter Füllung geschlossen. Für größere Gegenstände wendet man rechteckige Kisten an, von etwa 800 mm Länge und 500 mm Breite

[1]) „Stahl und Eisen" 1907, Seite 19.
[2]) „Stahl und Eisen" 1899, Seite 367.

und Höhe. Die Wandstärke der Glühtöpfe und Glühkisten beträgt etwa 25 bis 30 mm.

Abb. 407 und 408 zeigen einen solchen Ofen zum Glühen in Töpfen [1]). Je 3 Töpfe sind übereinander gestellt, und der Ofen faßt 12 solche Topfsätze, also im ganzen 36 Glühtöpfe. Unterhalb der gemauerten Sohle des Ofens liegt, in der ganzen Länge des Ofens sich erstreckend, der überwölbte Rost, und die Feuerungsgase gelangen durch 20 Züge, welche in Abb. 407 im Durchschnitte, in Abb. 408 von oben zu sehen sind, in den Ofen. Nachdem sie zwischen den Töpfen emporgestiegen sind, wenden sie sich den beiden Längsseiten zu, ziehen durch 12 senkrechte, in den Ofenwänden angebrachte Kanäle *aa* . . abwärts, um in die beiden wagerechten Kanäle *bb* zu gelangen, und werden schließlich durch die vier in den Ecken des Ofens angebrachten Schornsteinröhren *cc* . . ins Freie geführt.




Abb. 407.

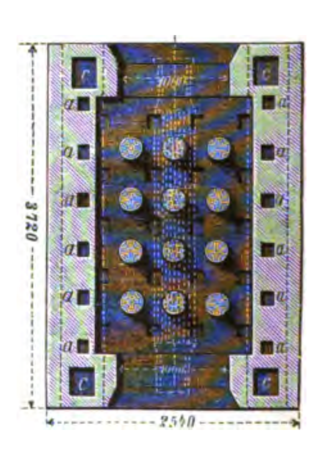


Abb. 408.

Das Besetzen des Ofens erfolgt durch Türöffnungen in den beiden Stirnseiten, welche vor dem Anfeuern vermauert werden.

Öfen dieser Art müssen nach beendigtem Glühen, damit das Austragen der geglühten und das Einbringen frisch gefüllter Töpfe möglich sei, kaltgelegt und dann aufs neue geheizt werden. Hierdurch entsteht ein Wärme- und Zeitverlust. Bei ununterbrochenem Betriebe läßt der Übelstand sich umgehen, wenn man dem Ofen einen beweglichen, zum Auswechseln bestimmten Boden gibt. Während des Glühens des einen Einsatzes wird der zweite Boden außerhalb des Ofens beladen; dann wird der erste Boden mit seiner Ladung entfernt und der zweite an seine Stelle gebracht [2]).

---

[1]) Aus C. Rott, Die Fabrikation des schmiedbaren und Tempergusses.

[2]) Abbildung eines Glühofens mit beweglichem Boden (von Querfurthscher Ofen): A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei, 3. Auflage, Seite 394.

Beim Glühen größerer Gegenstände dagegen umgeht man die Anwendung der Glühtöpfe, indem man die sämtlichen in dem Ofen zu glühenden Gegenstände mit dem Glühmittel in einen gemeinschaftlichen gemauerten Behälter einpackt, welcher einen Bestandteil des Ofens selbst bildet und von außen erhitzt wird [1]). Damit die Erhitzung tunlichst gleichmäßig ausfalle, dürfen die Wände des Behälters nicht zu stark und seine Breite nicht zu beträchtlich bemessen sein. Die Form des Behälters kann verschieden sein. Die im nächsten Abschnitte besprochenen Zementierungsöfen würden z. B. auch für diesen Zweck sich verwenden lassen und sind in der Tat dafür verwendet worden [2]). Häufiger findet man auf deutschen Werken einen Ofen, dessen Decke sich — im ganzen oder in einzelnen Stücken — abheben läßt, so daß auf diese Weise das Ofeninnere zugänglich wird; der zur Aufnahme der Gußstücke dienende Behälter ragt bis nahe unter die Decke und wird zunächst an seinen Außenflächen durch die von unten aufsteigenden Gase erhitzt, welche alsdann ihren Abzug durch einen senkrechten, in der Mitte des Behälters befindlichen Kanal nehmen, so daß auch von hier aus Erhitzung stattfindet [3]).

5. Das Arbeitsverfahren.

Die zu glühenden Gußstücke werden nach dem Gießen und Erkalten von anhaftendem Formsande gereinigt. Kleinere Gegenstände bringt man zu diesem Zwecke häufig in umlaufende Trommeln, wo sie selbst sich gegenseitig abscheuern, oder man benutzt ein Sandstrahlgebläse zum Putzen [4]).

Alsdann folgt das Einpacken in die Glühtöpfe oder in die gemauerten Behälter des Glühofens. Benutzt man eiserne Gefäße, so kann man ihre Innenfläche mit Kalkmilch bestreichen, um ein Anfritten des Glühmittels zu verhindern. Über die Wahl des letzteren ist schon oben das Erforderliche gesagt worden.

Zunächst kommt auf den Boden des Gefäßes eine mehrere Zentimeter hohe Schicht des Glühmittels; auf diese werden die Stücke des einzubettenden Gusses in möglichst gleichmäßiger Verteilung gelegt, doch so, daß sie weder sich untereinander noch die Wände des Gefäßes berühren. Die Zwischenräume werden mit dem Glühmittel ausgefüllt, oben darauf kommt wieder eine Schicht des letzteren, auf welcher abermals eine Lage Gußstücke eingebettet wird usf. Das Einpacken muß sorgfältig ausgeführt werden, wenn der Zweck des Glühens erreicht werden soll. Bei mangelhafter Verpackung der Gegenstände, deren Folge eine ungenügende Berührung mit dem Glühmittel ist, kann es vorkommen,

[1]) Osann, Temperstahlguß, eine Studie in der größten Temperstahlgießerei Europas. „Stahl und Eisen" 1908, Seite 22.

[2]) Z. B. bei der Darstellung des Glühstahls nach Tunners erwähntem Verfahren.

[3]) Abbildungen solcher Öfen: Rott, Fabrikation des schmiedbaren und Tempergusses; auch A. Ledebur, Eisen- und Stahlgießerei, 3. Auflage, Seite 395.

[4]) Über Einrichtung der Sandstrahlgebläse zum Putzen: Zeitschr. des Vereins deutscher Ingenieure 1899, Seite 442.

daß von zwei gleichen Gußstücken das eine beinahe entkohlt ist, während das andere kaum stahlartige Beschaffenheit angenommen hat.

Sind die Gefäße in der beschriebenen Weise gefüllt, so gibt man zu oberst noch eine Lage des Glühmittels und dann als Verschluß einen Deckel, welcher bei eisernen Gefäßen aus Gußeisen oder Blech besteht, beim Einbetten im Ofen selbst aus Ziegeln gebildet wird.

Nun werden die Glühtöpfe, falls man solche benutzte, an Ort und Stelle gebracht, die Einsatzöffnungen werden geschlossen, und das Anfeuern kann beginnen.

Die Zeitdauer, während welcher die Gegenstände der Erhitzung preisgegeben werden, richtet sich nach ihrer Größe und dem beabsichtigten Grade der Entkohlung. Für kleinere Gegenstände, welche in dem zuvor erkalteten Ofen bis zur Schweißbarkeit entkohlt werden sollen, ist eine Woche erforderlich, wobei zwei Tage auf das Anfeuern und die allmähliche Steigerung der Temperatur, drei Tage auf das Vollfeuer und zwei Tage auf die allmähliche Abkühlung zu rechnen sind. Größere Gegenstände müssen noch ein bis zwei Tage länger im Vollfeuer erhalten werden. Bei Öfen mit auswechselbarem Boden dagegen genügt, wenn die Gegenstände in den bereits heißen Ofen eingebracht wurden, ein etwa fünftägiges Glühen. Die erforderliche Temperatur ist Hellrotglut, nach Royston[1]) 860 bis 900° C. Eine tunlichst genaue Regelung der Temperatur ist wichtig. In zu niedriger Temperatur verläuft die Entkohlung zu langsam oder unterbleibt gänzlich; in zu hoher Temperatur ist eine Beschädigung der Glühgefäße, ein Zusammensintern der Tempermasse mit dem zu glühenden Eisen oder eine Umformung der allzu weichen Eisenteile durch den Druck der Tempermasse zu befürchten. Gewöhnlich beurteilt man die im Ofen herrschende Temperatur nach dem Maße des Erglühens der durch ein Schauloch beobachteten inneren Ofenteile; sicherer ist die Anwendung eines Pyrometers. Durch den Versuch läßt sich in letzterem Falle bald ermitteln, bei welcher Temperatur des Ofens der Verlauf am günstigsten ist.

Wenn schließlich die Abkühlung beendet ist, wird der Ofen geöffnet, die Gefäße werden ihres Inhalts entleert, die geglühten Gegenstände werden einzeln mit Hammer und Feile geprüft, ob sie weich und dehnbar genug sind, und wenn die Prüfung ein befriedigendes Ergebnis geliefert hat, werden sie in umlaufenden, etwas scharfkantigen Sand enthaltenden Trommeln von der anhaftenden Tempermasse gereinigt. Zu hart befundene Stücke werden zurückgelegt, um einem abermaligen Tempern unterzogen zu werden.

Beim Glühen findet eine Gewichtsverminderung der Gußstücke um ungefähr 2 v. H. statt, während die Abmessungen um etwa 1 v. H. sich vergrößern. Das spezifische Gewicht wird demnach beim Glühen verringert.

---

[1]) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 630.

6. Der chemische Verlauf des Glühfrischens.

Die Eigentümlichkeiten des Glühfrischens lassen folgern, daß unter den gewöhnlichen Verhältnissen nur der Kohlenstoffgehalt sich verringere, der Mangan-, Silicium- und Phosphorgehalt keinerlei Änderung erfahre, der Schwefelgehalt aber durch Aufnahme aus dem Glühmittel angereichert werden könne. Nachstehende von Davenport ausgeführte Untersuchungen[1]) liefern den Beweis für die Richtigkeit dieser Annahme.

Erster Versuch.	C	Si	P	S	Mn
Vor dem Glühen	3,44	0,44	0,31	0,059	0,53
Nach einmaligem Glühen .	1,41	0,44	0,32	0,067	0,58
Nach zweimaligem Glühen .	unter 0,10	0,45	0,31	0,063	0,52
Zweiter Versuch.					
Vor dem Glühen	3,43	0,58	0,28	0,10	0,58
Nach einmaligem Glühen .	0,43	0,61	0,29	0,14	0,61
Nach zweimaligem Glühen .	unter 0,10	0,61	0,29	0,16	0,57

Daß der Gehalt an Silicium selbst nach 144stündigem Glühen in Erzen oder in Sand keine wesentliche Veränderung erfahre, beobachtete auch Forquignon[1]); z. B.

vor dem Glühen . . 0,45; nach dem Glühen in Sand . . 0,44
vor dem Glühen . . 0,77; nach dem Glühen in Erzen . . 0,76.

Dagegen hat Richter gefunden, daß bei der Darstellung des Tunnerschen Glühstahls eine Verringerung des Silicium- und Mangangehalts durch Aussaigerung stattfinden könne[2]). Seine Beobachtung läßt auf eine außergewöhnlich hohe Temperatur beim Glühen schließen und bildet eine Ausnahme von der Regel.

Entnimmt man dem Glühofen eine Probe, bevor die für eine annähernd völlige Entkohlung erforderliche Zeitdauer verstrichen ist, und bricht sie durch, so gewahrt man meistens einen dunklen Kern, eingeschlossen von einer Schicht entkohlten Eisens. Die Entkohlung war noch nicht vollständig bis in das Innere vorgedrungen; die Dunkelfärbung des weniger entkohlten Metalls aber rührt von gebildeter Temperkohle her. Bei Fortsetzung des Glühens tritt dann die Temperkohle aus. Forquignon verfolgte die Umwandlungen, welche die Kohlenstofformen beim Glühen

---

[1]) Vergl. Literatur.
[2]) Jahrbuch der österr. Bergakademien 1860, Seite 359. Die von Richter gefundenen Ergebnisse sind folgende:

Erste Probe.	Kohlenstoff	Silicium	Schwefel	Mangan
Vor dem Glühen . . .	3,57	0,13	0,009	0,61
Nach dem Glühen . .	1,17	0,002	0,010	0,19
Zweite Probe.				
Vor dem Glühen . . .	3,42	0,11	0,006	0,58
Nach dem Glühen . .	1,20	0,006	0,011	0,21

Auch Gottlieb beobachtete bei der Glühstahlbereitung nach Tunners Verfahren eine Abnahme des Siliciumgehalts von 1,01 auf 0,25 v. H. (dasselbe Jahrbuch 1857, Seite 105).

erleiden, durch wiederholte Untersuchung derselben Proben nach verschiedener Zeitdauer des Glühens; es ergab sich hierbei[1]):

	Vor dem Glühen	Nach 36 stünd. Glühen in Roteisenerz	Nach 72 stünd. Glühen in Roteisenerz	Nach 144 stünd. Glühen in Roteisenerz
Erster Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	2,94	2,13	0,96	0,84
Temperkohle	Spur	0,47	0,84	0,26
zusammen	2,94	2,60	1,80	1,10
Zweiter Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	3,27	1,55	1,25	0,90
Temperkohle	0,00	1,45	1,09	0,51
zusammen	3,27	3,00	2,34	1,41
Dritter Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	3,12	0,94	1,02	0,81
Temperkohle	Spur	1,61	1,19	0,50
zusammen	3,12	2,55	2,21	1,31
Vierter Versuch.				
Härtungs- und Karbidkohle	3,51	1,17	0,85	0,71
Temperkohle	0,02	2,28	1,56	0,81
zusammen	3,53	3,45	2,41	1,52

Bei gleichen, durch Watanabe im Eisenhütten-Laboratorium der Freiberger Bergakademie ausgeführten Versuchen[2]) wurde auch der Gehalt an Härtungs- und Karbidkohle getrennt bestimmt. Die Proben wurden in den kalten Ofen eingesetzt; nach etwa viertägigem Feuern war Rotglut erreicht, worauf man noch vier Tage lang feuerte. Die herausgenommenen Proben wurden an der Luft, also ziemlich rasch abgekühlt. Der Kohlenstoffgehalt betrug:

	Ungeglüht	Nach 4 tägigem Glühen	5	6	7	8	10
Härtungskohle	0,741	0,815	0,859	0,885	0,631	0,245	—
Karbidkohle	2,597	2,246	2,073	1,874	0,420	0,492	0,656
Temperkohle	—	—	—	0,179	1,037	0,833	0,443
Gesamtkohle	3,338	3,061	2,932	2,888	2,098	1,570	1,099

[1]) Die Temperkohle ist von Forquignon, der früheren Ansicht gemäß, als Graphit bezeichnet, Karbid- und Härtungskohle zusammen als „gebundene“ Kohle.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 633.

Die Zunahme der Härtungskohle nach den ersten Tagen des Glühens wird durch den Umstand erklärt, daß das ursprüngliche Gußstück nach dem Gusse langsam, die beim Glühen herausgenommenen Proben dagegen ziemlich rasch abgekühlt wurden. Temperkohle erscheint erst am sechsten Tage, und erst von diesem Zeitpunkte an zeigt sich eine rasche Abnahme des Gesamtkohlenstoffgehalts, während der Gehalt an Temperkohle zunächst zunimmt. Auch bei Forquignons Versuchen läßt sich regelmäßig zunächst die reichliche Bildung von Temperkohle wahrnehmen, bevor der Gesamtkohlenstoffgehalt abnimmt, und man darf aus beiden Versuchsreihen schließen, daß der Kohlenstoffgehalt, bevor er überhaupt aus dem Eisen austritt, vollständig oder doch fast vollständig in Temperkohle übergeht.

Da die Entkohlungstemperatur oberhalb derjenigen liegt, bei welcher beim Abkühlen die Umwandlung der Härtungskohle in Karbidkohle stattfindet (Seite 328 I, 334 I), hängt das Verhältnis zwischen diesen beiden Kohlenstofformen in den erkalteten Gegenständen nur von der Art und Weise der vorausgegangenen Abkühlung ab. Gewöhnlich läßt man die geglühten Stücke im Ofen langsam erkalten, und sie enthalten dann nur wenig Härtungskohle; z. B. in einem von mir untersuchten, wegen mangelhafter Verpackung im Glühmittel ungenügend entkohlten Gußstücke:

Härtungskohle	0,10
Karbidkohlle	0,71
Temperkohle	0,90
zusammen	1,71.

Der Gesamtkohlenstoffgehalt ist auch in den von Forquignon und in den von Watanabe geglühten Stücken noch ziemlich hoch, ein Beweis, daß zur Erzielung einer annähernd vollständigen Entkohlung auch dünnerer Stücke ein sehr lange fortgesetztes Glühen erforderlich ist. Die Temperkohle aber, welche einen erheblichen Teil des gesamten Kohlenstoffgehalts ausmacht, vermag nicht die Härte und Zähigkeit des erkalteten und die Schmiedbarkeit des glühenden Eisens in dem Maße zu schmälern wie ein gleicher Kohlenstoffgehalt in anderer Form.

Durch Versuche im großen wie im kleinen ist die schon oben berührte Tatsache nachgewiesen worden, daß eine Entkohlung auch beim Glühen in solchen pulverförmigen Körpern möglich ist, welche selbst keine chemische Einwirkung ausüben; z. B. in Quarzsand. Forquignon fand beim Glühen manganarmen weißen Roheisens in Quarzsand, welcher fast aus reiner Kieselsäure bestand, eine Abnahme der Kohlenstoffgehalte und Veränderung der Kohlenstofformen wie die auf Seite 398 gegebenen Beispiele zeigen.

Die Beobachtung Forquignons wurde von Royston und von mir bestätigt[1]). Aus Forquignons und aus Roystons Versuchen ergab sich, daß auch durch Glühen in Kalk, Knochenasche und anderen Körpern der gleiche Erfolg sich erreichen läßt.

[1]) „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 381; 1897, Seite 631.

	Vor dem Glühen	Nach 72stündigem Glühen in Sand	Nach 144stündigem Glühen in Sand
Erster Versuch.			
Härtungs- und Karbidkohle .	2,94	1,45	1,00
Temperkohle	0,00	0,16	0,50
zusammen	2,94	1,61	1,50
Zweiter Versuch.			
Härtungs- und Karbidkohle .	3,27	1,82	1,26
Temperkohle	0,00	1,20	1,18
zusammen	3,27	3,02	2,44

Vermutlich bildet hier, wie schon erwähnt wurde, die eingeschlossene Luft das Entkohlungsmittel; man macht im großen keine Anwendung des Verfahrens, weil die Entkohlung langsamer als bei Benutzung von Eisenoxyden vonstatten geht. Auch bei Tunners Verfahren der Glühstahldarstellung ersetzte man später den Sand durch Eisenerze.

Daß auch trockener Wasserstoff und Stickstoff, in Gelbglut über das kohlenstoffhaltige Eisen geleitet, dessen Entkohlung zu bewirken vermögen, wurde auf Seite 348 I mitgeteilt. Diese Einwirkung der Gase auf den Kohlenstoffgehalt des Roheisens kann die Erklärung für die auffällige Erscheinung liefern, daß selbst beim Glühen eines für das Glühfrischen geeigneten weißen Roheisens in Holzkohle nicht selten eine Abnahme des Kohlenstoffgehalts bemerkbar ist; z. B.:

	Kohlenstoffgehalt Hundertteile
Erster Versuch (nach Forquignon).	
Vor dem Glühen.	2,94
Nach 144stündigem Glühen in Holzkohle . . .	2,26
Zweiter Versuch (von mir ausgeführt).	
Vor dem Glühen.	2,82
Nach 108stündigem Glühen in Holzkohle . . .	2,29
Dritter Versuch (von mir ausgeführt).	
Vor dem Glühen.	2,31
Nach 72stündigem Glühen in Holkohle. . . .	1,86
Vierter Versuch (von mir ausgeführt).	
Vor dem Glühen.	3,83
Nach 108stündigem Glühen in Holzkohle . . .	3,29

Noch mehrere andere Versuche lieferten das nämliche Ergebnis, während andererseits bei einigen gleichen Versuchen [1]) der Kohlenstoffgehalt keine Änderung erlitt. Die Ursache der Verminderung des Kohlenstoffgehalts in den verschiedenen erwähnten Fällen kann nur der Wasserstoff sein, welcher beim Glühen der

[1]) Die sämtlichen Versuche über die Wirkung des Glühens von Roheisen in Holzkohle sind mitgeteilt in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 381 und 777.

stets Feuchtigkeit enthaltenden Holzkohle sich bildete. Der Vorgang verdient Beachtung, obschon er für den Betrieb des Glühfrischens ohne Belang ist.

7. Das Erzeugnis.

Auf der Bruchfläche fertig geglühten schmiedbaren Gusses gewahrt man in einzelnen Fällen ein gleichmäßig körniges Gefüge, um so grobkörniger, je weiter die Entkohlung fortschritt; wirkte aber das Glühmittel zu kräftig, so finden sich lockere Stellen, die beim Durchbrechen des Stückes ein dem kurzsehnigen Schweißeisen ähnliches Aussehen annehmen. Mitunter auch gewahrt man äußerlich eine grobkristallinische Kruste, welche sich scharf von dem inneren feinkörnigen oder lockeren Kerne scheidet; bei genauerer Betrachtung lassen sich bisweilen noch mehr solche übereinanderliegende Schichten unterscheiden, welche bei der chemischen Untersuchung verschiedenen Kohlenstoffgehalt aufweisen. Royston fand in Gußstücken, welche 7 Tage lang geglüht worden waren, vier voneinander gesonderte Schichten; die äußere enthielt nur eine Spur Kohlenstoff, die zweite 0,51 v. H., die dritte 0,90 v. H. und der innere Kern 1,40. Es ist wahrscheinlich, obgleich durch chemische Untersuchung noch nicht mit Sicherheit erwiesen, daß die äußere, grobkristallinische Schicht solcher Gußstücke bereits sauerstoffhaltig geworden ist.

Diese Ungleichmäßigkeit in der Zusammensetzung eines und desselben Stückes und der nie ganz fehlende Gehalt an Temperkohle müssen natürlich das Verhalten des schmiedbaren Gusses bei der Beanspruchung auf Festigkeit ungünstig beeinflussen. In der Tat ergaben die mehrfach angestellten Festigkeitsversuche, daß man zwar imstande ist, durch das Glühfrischen ein Erzeugnis zu gewinnen, dessen Festigkeit der des Schweißeisens nahe steht, dessen Zähigkeit aber immerhin erheblich geringer ist, während beide Eigenschaften wegen der Zufälligkeiten beim Glühen ziemlich erheblichen Schwankungen unterliegen. Bei einer größeren Reihe von Festigkeitsversuchen, welche bei der Königlichen technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg mit drei verschiedenen Probelieferungen schmiedbaren Gusses angestellt wurden [1]), erhielt man nachstehende Mittelwerte:

	Zugfestigkeit auf 1 qmm kg	Querschnittsabnahme v. H.	Längenausdehnung auf 200 mm ursprüngliche Länge v. H.
Erste Versuchsreihe	25,1	8,8	2,5
Zweite Versuchsreihe	25,8	8,2	2,5
Dritte Versuchsreihe	38,6	2,0	0,0

Royston fand bei den erwähnten, ungleichmäßig zusammengesetzten Proben, deren mittlerer, in einer genommenen Durchschnittsprobe ermittelter Kohlenstoffgehalt 0,74 v. H. war, eine Zugfestigkeit von 31,5 bis 32,5 kg, Querschnittsabnahme 2,9 bis

[1]) Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalt 1886, Seite 131.

4,2 v. H., Längenausdehnung auf 150 mm ursprüngliche Länge 1,6 bis 2,0 v. H.; als man dieselben Stücke dann noch dreimal je 7 Tage lang glühte, war der Kohlenstoffgehalt bis auf geringe Spuren verbrannt, die Festigkeit auf 26,1 kg verringert, die Querschnittsabnahme auf 7,9 v. H. und die Längenausdehnung auf 10,8 v. H. gesteigert, und die Proben ertrugen starke Biegungen.

Auch von weniger lange, als in letzterem Falle, geglühtem schmiedbaren Gusse verlangt man, daß sich Stücke von 2 bis 3 mm Stärke über einen mäßig starken Dorn kalt um 180° biegen lassen, bisweilen kann man sie flach zusammenschlagen, ohne Bruch zu veranlassen.

Ziemlich vielseitig ist die Anwendung, welche der schmiedbare Guß findet. Kleine Maschinenteile mannigfacher Form für landwirtschaftliche Maschinen, Nähmaschinen und zahlreiche andere Maschinen werden in schmiedbarem Guß gefertigt, sofern Gußeisen für die betreffende Verwendung zu spröde ist, die unmittelbare Herstellung der Gegenstände aus schmiedbarem Eisen wegen der oben besprochenen Gründe aber nicht tunlich erscheint; Schraubenschlüssel, Teile zu Schlössern, Verbindungsstücke zu schmiedeeisernen Gasleitungsröhren (Kniestücke, T-Stücke u. a.) und viele andere Gegenstände erhalten ihre Herstellung gleichfalls häufig durch das besprochene Verfahren; auch Laufräder für Gruben- und Bauwagen werden in ziemlich großer Zahl aus schmiedbarem Guß gefertigt. Von der auf Seite 395 III erwähnten Erscheinung bei vorzeitiger Unterbrechung des Temperns macht man eine zweckmäßige Anwendung da, wo es sich um Erzeugung von Gegenständen handelt, welche, wie z. B. hohle Schlüssel, später gebohrt werden sollen. Dieser sogenannte „Bohrguß" läßt sich bei zweckentsprechender Zusammensetzung und rechtzeitiger Unterbrechung des Temperprozesses infolge Ablagerung von Temperkohle mit größter Leichtigkeit in achsialer Richtung bohren, und der stehenbleibende Rand aus entkohltem Eisen bildet dann den hohlen Schaft des Schlüssels.

Größere Gegenstände, besonders Laufräder, welche sich beim Tempern leicht verziehen, werden nach beendigter Entkohlung glühend in eine eiserne Form gelegt und durch den Druck einer Presse gerichtet.

Beispiele der von mir gefundenen Zusammensetzung gut bewährten schmiedbaren Gusses sind folgende:

	Gesamtkohlenstoff	Silicium	Mangan	Schwefel	Phosphor
Aus einer Wiener Gießerei	0,38	0,92	0,21	0,05	0,07
Aus einer deutschen Gießerei	0,35	0,69	0,16	0,20	0,05
Wie vorstehend	0,25	0,41	0,15	n. best.	n. best.

Literatur.

C. Rott, Die Fabrikation des schmiedbaren und Tempergusses. Separatabdruck aus dem Praktischen Maschinenkonstrukteur. Leipzig 1881.

C. Rott, Beiträge zur Praxis der Eisengießerei. Berlin 1901.

A. Ledebur, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei. Dritte Aufl. Leipzig 1901. Seite 385.

R. Davenport, Chemische Untersuchungen über einige Punkte der Darstellung schmiedbaren Gusses. Dinglers polyt. Journal, Band 207, Seite 51 (aus Mechanics Magazine 1871, Seite 392).
M. Forquignon, Recherches sur la fonte malléable et sur le recuit des aciers. Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Band 23, Seite 433 (1881); auszugsweise bearbeitet und mit Ergänzungen versehen in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 380 und 777.
C. Ricketts, Physical tests of malleable cast iron. Iron, Band 25, Seite 358.
Ergebnisse der Untersuchung von schmiedbarem Guß. Mitteilungen der Königl. technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg 1886, Seite 131.
A. Ledebur, Neuere Arbeiten über Glühfrischen und die Veränderungen der Kohlenstofformen beim Glühen. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 628.
A. Ledebur, Über Darstellung schmiedbaren Gusses in den Vereinigten Staaten. Nach Mitteilungen von C. Davis und E C. Wheeler. Aus Iron Age, Band 63, Nr. 6—8 in „Stahl und Eisen" 1899, Seite 366.
A. Ledebur, Über den Einfluß des Siliciums beim Glühfrischen. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 813.
B. Osann, Temperstahlguß. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 22.
Mammoth malleable annealing ovens. Iron Age. 9. Juli 1903, Seite 5.
F. Wüst, Veränderung des Gußeisens durch anhaltendes Glühen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1136.
P. Schlösser, Die Temperkohle. — Siehe Eisen und Kohlenstoff.

VI. Die Darstellung des Zementstahls.

1. Allgemeines.

Kohlenstoffarmes Eisen — Schmiedeeisen — wird in Berührung mit Holzkohlen, ausnahmsweise auch wohl mit anderen kohlenstoffhaltigen Körpern, geglüht. Es nimmt dabei Kohlenstoff auf und wandelt sich in Stahl um.

Das Verfahren ist schon ziemlich alt und war bereits im 17. Jahrhundert bekannt[1]). In England wurde es während des 18. Jahrhunderts vielfach betrieben; eine stärkere Entfaltung erhielt es, nachdem man die Tiegelstahldarstellung erfunden und alsdann erkannt hatte, daß zur Bereitung eines vorzüglichen Tiegelstahls der Zementstahl sich vorzugsweise gut eigne. Erst nach Einführung der Tiegelstahldarstellung vermochte deshalb auch in anderen Ländern die Zementstahldarstellung Boden zu gewinnen; in der Remscheider Gegend, wo jetzt die Hauptstätte der deutschen Zementstahldarstellung ist, wurde sie dauernd erst seit 1811 eingeführt, nachdem eine zu Altena im Jahre 1788 errichtete Fabrik wegen mangelnder Verwendung des Erzeugnisses wieder eingegangen war[2]).

[1]) In dem im Jahre 1617 erschienenen Buche: Bericht von den Bergwerken von G. J. Löhweiss, wird auf Seite 178 erwähnt, daß man Eisen durch Glühen mit Holzkohlen in Stahl verwandeln kann; eine ausführlichere Beschreibung des Verfahrens enthält Réaumurs mehrfach erwähntes, 1722 erschienenes Werk: L'art de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu.

[2]) Ludwig Beck, Geschichte des Eisens, Band 3, Seite 945.

Die Darstellung von Stahl durch Glühen des zuvor entkohlten Eisens mit Holzkohle ist offenbar umständlicher und kostspieliger als die unmittelbare Erzeugung aus Roheisen im Frischfeuer, im Puddelofen, in der Bessemerbirne, im Martinofen. Der Grund, weshalb das Verfahren trotzdem in Anwendung ist und vorläufig auch noch eine gewisse Bedeutung sich bewahren wird, liegt in dem Umstande, daß der Gehalt an Fremdkörpern, welche bei jener unmittelbaren Stahlerzeugung aus Roheisen in dem Stahle zurückbleiben, um so größer ist, je frühzeitiger die Entkohlung unterbrochen wurde, d. h. je kohlenstoffreicher der gewonnene Stahl ist. Man erhält mithin einen reineren und deshalb für viele Verwendungen geeigneteren Stahl durch die Zementierung des kohlenstoffarmen Eisens als durch die unmittelbare Herstellung aus Roheisen. Die höheren Kosten des Zementstahls aber setzen seiner Verwendung eine Grenze und beschränken sie auf die Herstellung feinerer Werkzeuge, Feilen und dergleichen, wobei er, wie erwähnt, in den meisten Fällen erst durch ein folgendes Verfahren in Tiegelstahl verwandelt wird.

Da das aus phosphorarmem Roheisen erzeugte Schweißeisen, wenn man von der mechanisch eingemengten Schlacke absieht, chemisch reiner ist als Flußeisen, welches regelmäßig Mangan, nicht selten Silicium und größere Mengen Schwefel als Schweißeisen enthält, benutzt man fast nur ersteres zur Zementstahldarstellung. Die dem Schweißeisen eingemengte Schlacke wird bei dem anhaltenden reduzierenden Glühen zum großen Teil unter Reduktion ihres Eisengehalts zerstört; wird der Zementstahl später in Tiegeln geschmolzen, so wird sie dadurch vollständig entfernt.

Immerhin verdient auch für die Zementstahldarstellung das schlackenreinere Eisen den Vorzug, schon deshalb, weil durch die Anwesenheit eisenreicher Schlackenkörnchen die Kohlung an Gleichmäßigkeit verlieren muß. Geschätzt ist deshalb für diesen Zweck Frischfeuereisen, ganz besonders das durch seine Reinheit von Phosphor ausgezeichnete schwedische derartige Eisen; häufiger freilich findet in Ländern, wo der Frischfeuerbetrieb eingegangen ist, Puddeleisen, aus reinen Roheisensorten erzeugt, Verwendung; so in Westfalen, in England und anderwärts.

2. Der Zementierofen.

Die zu zementierenden Gegenstände werden in gemauerte Kisten verpackt, welche gewöhnlich 2,75 bis 3,5 m lang, 0,8 bis 1,2 m hoch und 0,8 bis 1 m breit sind. Ein Ofen enthält eine oder zwei solcher Kisten; dreikistige Öfen sind bisweilen versucht worden, haben sich aber wegen der größeren Ungleichmäßigkeit der Erhitzung nicht besonders bewährt. Eine Kiste pflegt für die Aufnahme von 8 bis 14 t Eisen eingerichtet zu sein.

Die Einrichtung der Öfen, in welchen die Kisten eingemauert sind, zeigt insofern Übereinstimmung, als der Rost, von welchem aus die Heizung bewirkt wird, oder bei Gasfeuerung der Verbrennungsraum unterhalb der Kisten liegt, während eine Anzahl Kanäle die Feuerungsgase unter dem Boden und an den Seiten-

wänden der Kisten verteilen, bis sie schließlich oberhalb der Kisten nach einer Esse entweichen; in den Einzelheiten der Einrichtung aber finden sich verschiedene Abweichungen.

Bei den englischen Zementieröfen, welche auch in anderen Ländern außerhalb Englands vielfach zur Anwendung gekommen



Abb. 409.

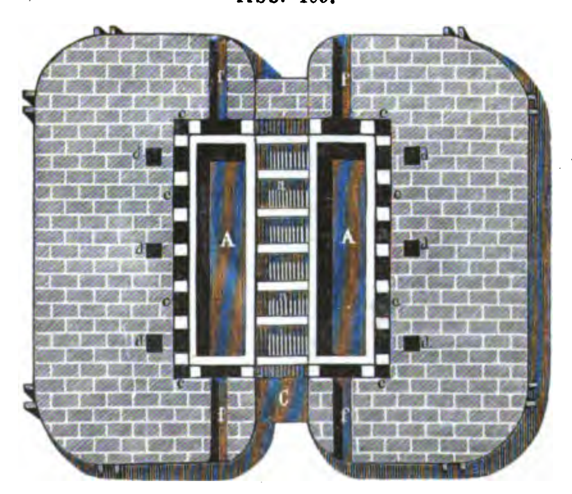


Abb. 410.

sind, dient eine gemeinschaftliche Rostfeuerung zur Heizung zweier Kisten. Die Abbildungen 409 und 410 zeigen in 1/100 der wirklichen Größe diese Einrichtung[1]). *AA* sind die beiden Kisten,

[1]) Kerl, Grundriß der Eisenhüttenkunde Fig. 199 und 200. Genau die gleiche Einrichtung der Zementierungsöfen war schon im 18. Jahrhundert in Großbritannien üblich; vergl. Jars, Metallurgische Reisen (1777), Bd. I, S. 363.

parallel nebeneinander stehend, mit so viel Zwischenraum zwischen sich, als die Breite der Züge für die zwischen den Kisten aufsteigenden Gase betragen soll. *a* ist der Rost, von beiden Seiten des Ofens aus zugänglich. Die Gase steigen von hier aus teils unmittelbar zwischen den Kisten empor, teils gelangen sie in die

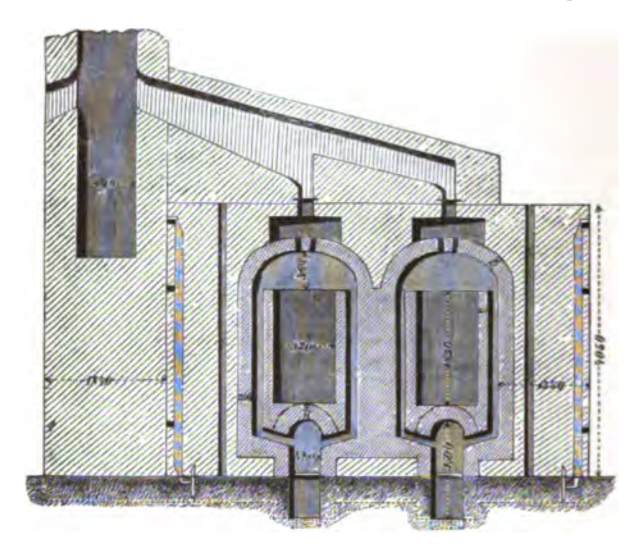


Abb. 411.

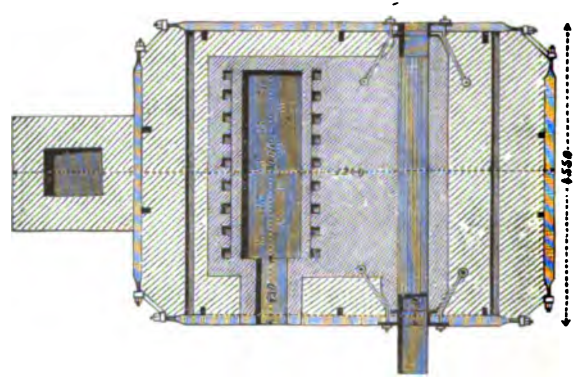
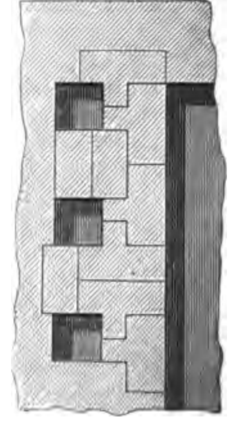


Abb. 412.

unter den Böden der Kisten angebrachten Querzüge *cc* (Abb. 409), um schließlich an den entgegengesetzten Seiten der Kisten aufzusteigen. In Abb. 410 sind die oberen Mündungen der senkrechten Seitenzüge — ebenfalls mit *cc* bezeichnet — als schwarze Rechtecke erkennbar. Beide Kisten stehen demnach auf und zwischen einer Anzahl von Kanälen, geschieden durch schmale Mauerkörper, welche zum Tragen der Kisten und zur Unterstützung der Seitenwände dienen. Eine Zugregelung in dem Falle, daß die Kisten an

einzelnen Stellen zu stark, an anderen zu schwach erhitzt werden sollten, ist unschwer durch vollständige oder teilweise Abdeckung einzelner Züge an den zu heißen Stellen zu bewirken. Beide Kisten sind durch ein Gewölbe überspannt, in welchem sich einzelne, gleichmäßig verteilte Öffnungen *dd* . . für die entweichenden Gase befinden; das Ganze ist unter der Kuppel *B* mit der Rauchabzugsöffnung *e* angeordnet. Zur Verstärkung des Zuges bringt man über *e* eine Esse an, welche entweder unmittelbar auf der Kuppel *B* steht, oder, wie es in der Gegend von Sheffield üblich sein soll, Kegelform besitzt und unten so weit im Durchmesser ist, daß sie, von besonderen, auf dem Erdboden ruhenden Pfeilern getragen, den ganzen Ofen samt seiner Kuppel einschließt.

ff sind Öffnungen im Mauerwerke, durch welche das Einbringen und Herausnehmen der Stäbe besorgt wird; zwischen den beiden Öffnungen befindet sich ein in der Abbildung nicht angedeutetes Mannloch in der Ofenmauer, durch welches die zum Füllen und Entleeren bestimmten Arbeiter in den Ofen einsteigen können. Vor dem Anheizen des Ofens wird das Mannloch vermauert.


Abb. 413.

Etwas einfacher ist die Einrichtung der Zementieröfen, welche in der Remscheider Gegend benutzt werden. Zwei solche Öfen mit gemeinschaftlicher Esse und je einer Kiste sind in Abb. 411 und 412 dargestellt[1]). Jede Kiste hat hier ihre eigene Feuerung, so daß man imstande ist, erforderlichenfalls zur Erlangung verschiedener Härtegrade die Kisten verschieden stark zu erhitzen; wegen des Wegfalls der gemeinschaftlichen Kuppel ist die ganze Anlage billiger[2]).

Die Kisten werden entweder aus Masse gestampft oder häufiger aus feuerfesten Steinen — Sandsteinen oder Schamottsteinen — gemauert. Von Wichtigkeit ist es hierbei, daß die Fugen dicht genug schließen, um während des Glühens den Zutritt atmosphärischer Luft von außen in die Kiste abzuhalten. Die Wände und der Boden werden daher gewöhnlich aus mehreren hinter- und übereinander angebrachten Steinlagen hergestellt, deren Fugen sich decken, so daß selbst bei der Erweiterung der einzelnen Fuge der dahinterliegende Stein sie noch verdeckt. Mitunter auch benutzt man besondere, ineinander greifende Formsteine, um einen dichteren Verband zu erzielen. Abb. 413 zeigt im Grundriß den Steinverband an den Zügen und Seitenwänden einer Remscheider Kiste.

---

[1]) Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1879, Taf. 2, Fig. 3 und 4 (nach Mannesmann).

[2]) Abbildung eines amerikanischen Zementierungsofens mit Gasfeuerung, bei welchem Gas und Luft in Kanälen des Ofengemäuers erhitzt werden: Zeitschr. für Berg-, Hütten- und Salinenwesen in Preußen, Band 24, Seite 482 (Wedding); eines schwedischen Zementierungsofen mit fahrbarer Kiste und Gasfeuerung: „Stahl und Eisen“ 1902, Seite 438 (aus Jernkontorets Annaler 1901, Seite 242).

3. Das Arbeitsverfahren und die Betriebsergebnisse.

Über die Wahl des zu zementierenden Eisens ist bereits auf Seite 402 III das Erforderliche gesagt worden. Man benutzt in der Regel Flachstäbe, welche dem Eindringen des Kohlenstoffs und seiner Verteilung innerhalb des ganzen Querschnitts günstiger sind als Quadratstäbe von gleicher Querschnittsgröße. Ihre Stärke beträgt gewöhnlich 10 bis 20 mm, ihre Breite 50 bis 100 mm. Ihre Länge muß etwas geringer sein als die der Kiste, damit sie Platz finden, sich beim Erhitzen auszudehnen.

Als Zementierpulver dient gesiebte Holzkohle von Nuß- bis Erbsengröße und darunter. Laubholzkohle zementiert kräftiger als Nadelholzkohle; des geringeren Preises wegen findet jedoch auch letztere häufige Anwendung. Erfahrungsmäßig verliert die Holzkohle bei der Benutzung an zementierender Kraft, und es ist deshalb erforderlich, einen ziemlich ansehnlichen Teil der benutzten Kohle jedesmal zurückzulassen und durch frische zu ersetzen. Gewöhnlich mischt man 1 Teil alte Kohle mit 2 Teilen frischer; oder man beseitigt die alte Kohle, nachdem sie höchstens zweimal benutzt worden ist, ganz und ersetzt sie vollständig durch frische [1]).

Zusätze zur Holzkohle, welche man bisweilen als förderlich für die Zementierung betrachtete, haben sich wenig bewährt und sind deshalb allgemein wieder außer Anwendung gekommen. Hierher gehören Alkalien oder deren Lösung in Wasser, mit welcher die Holzkohle getränkt wurde, kohlensaures Baryum, Knochenkohle, Blutlaugensalz u. a. m.: überhaupt Körper, welche die Entstehung von Zyaniden befördern. Man schrieb früher der Bildung dieser Zyanide eine besonders förderliche Wirkung auf die Zementierung des Eisens zu, nachdem man deren Eigenschaft, in hoher Temperatur kohlend auf das Eisen einzuwirken, erkannt hatte.

Die Arbeit beginnt mit dem Laden der Kisten. Ein Arbeiter begibt sich durch das Mannloch in den Ofen, ein anderer reicht von außenher die einzusetzenden Körper hinein.

Auf den Boden der Kiste bringt man eine Lage feinen Sandes, Schamottemehles oder dergleichen, welche den Zweck hat, die bei der Ausdehnung der Kiste etwa entstehenden Fugen zu schließen und den Eintritt der Luft zu hindern. Nun kommt die erste Lage Holzkohlenpulver, etwa 60 bis 80 mm hoch, auf diese eine Lage Eisenstäbe. Letztere müssen sorgfältig in die Kohle eingeklopft werden, so daß sie überall dicht eingeschlossen sind, und dürfen sich gegenseitig nicht berühren. Auf die Eisenstäbe kommt wieder eine Schicht Holzkohlen, dann kommen wieder Eisenstäbe usf.

Um eine Prüfung der Eisenstäbe während des Glühens zu ermöglichen, bringt man in der einen Giebelwand der Kisten etwas

[1]) Über die Ursachen dieser Abnahme der Zementierungsfähigkeit der Holzkohle sind verschiedene Theorien aufgestellt worden. In Ermangelung einer besseren Erklärung nimmt man gewöhnlich an, daß die Ursache in der durch das Glühen herbeigeführten Verdichtung der Holzkohle zu suchen sei. Geübte Arbeiter können, wie Mannesmann versichert, schon durch das Gefühl der Finger frische Holzkohle von benutzter unterscheiden. Vergl. hierüber die unter Literatur genannte Abhandlung von R. Mannesmann.

unterhalb des oberen Randes eine Öffnung an, aus welcher die Enden einiger als Proben dienender Stäbe herausragen, so daß man diese herausnehmen kann, wenn man sich überzeugen will, wie weit die Kohlung vorgeschritten ist.

Die Kisten werden mit Eisenstäben und Holzkohlen bis auf eine Höhe von etwa 100 mm unterhalb des oberen Randes gefüllt. Auf die oberste Holzkohlenschicht kommt schließlich eine möglichst luftdicht schließende Decke, zu unterst aus altem Zementierpulver, darüber aus Ziegelmehl oder dergleichen bestehend.

Wenn das Laden der Kiste beendet ist, vermauert man die Mannlöcher, schließt die Eintragsöffnungen durch eingesetzte Steine, verstreicht die Öffnungen für die Probestäbe mit Tonmörtel und schreitet zum Anfeuern des Ofens. Allmählich steigert man die Temperatur bis zur hellen Rotglut (Gelbglut), welche nach Verlauf von etwa $1^1/_2$ Tagen, vom Beginne des Anfeuerns an gerechnet, erreicht wird. In dieser Temperatur erhält man den Ofen 7 bis 9 Tage, je nachdem weicherer oder härterer Stahl erzeugt werden soll und je nachdem die Stäbe schwächeren oder stärkeren Querschnitt besaßen.

Durch Herausnahme und Prüfung einer Stange nach Ablauf einer bestimmten Zeit verschafft man sich ein Urteil über das Maß der inzwischen stattgehabten Kohlung. Man läßt die Stange abkühlen und zerbricht sie, um den Bruch zu besichtigen, schmiedet sie aus und härtet sie, biegt ein nicht gehärtetes Stück nach dem Ausschmieden kalt um usf. Zu beachten ist, daß der in der Kiste befindliche Stahl auch während des Abkühlens des Ofens seinen Kohlenstoffgehalt noch etwas anreichert, die Probe also entsprechend weniger hart sein muß als der fertige Stahl werden soll.

Das Abkühlen des Ofens findet allmählich statt, indem man das Feuern einstellt und die Luftzuführungsöffnungen (bei Rostfeuerung den Aschenfall) schließt. Erst wenn die Temperatur unter Rotglut gesunken ist, beschleunigt man durch allmähliches Öffnen der verschiedenen Verschlüsse (Aschenfall, Eintragsöffnungen u. a. m.) die Abkühlung, so daß nach Verlauf von etwa 5 bis 7 Tagen von der Beendigung des Feuerns an das Austragen der Kisten beginnen kann.

Im ganzen beträgt die Zeitdauer für das Anfeuern, Vollfeuer und Abkühlung 15 bis 20 Tage; hierzu kommt die Zeit für das Laden und Austragen der Kisten, abhängig von deren Größe, da nicht gut mehr als zwei Arbeiter dabei beschäftigt werden können, und gewöhnlich 6 bis 8 Tage beanspruchend, so daß 21 bis 28 Tage für den ganzen Brand einschließlich der Vor- und Nacharbeiten erforderlich sind.

Die ausgetragenen Stahlstangen werden kalt zerbrochen und ihrem Bruchaussehen gemäß gesondert.

Ein dem Zementieren ähnliches Verfahren, die Oberflächenhärtung genannt, wird mitunter bei der Verarbeitung des Eisens in Maschinenfabriken und anderen Werkstätten angewendet, um den aus weichem Eisen gefertigten, in ihrer Form fertigen Gegenständen eine der mechanischen Abnutzung besser widerstehende und zugleich politurfähigere Oberfläche zu verleihen. Es kommt

hierbei in Betracht, daß, wenn man jene Gegenstände von vornherein ganz aus Stahl fertigen wollte, die Ausgabe dafür höher, die Verarbeitung schwieriger, die Zähigkeit der Gegenstände, insbesondere die Widerstandsfähigkeit gegen Erschütterungen, geringer sein würde als bei der Verwendung von Schmiedeeisen, welches später nur an seiner Oberfläche in Stahl verwandelt wird. Man verpackt die Gegenstände mit Holzkohlenpulver, nicht selten auch mit stickstoffhaltigen Körpern (Knochenkohle, Lederabfällen, Blutlaugensalz) in Blechkästen und setzt sie einige Stunden hindurch der Hitze eines auf einem Roste unterhaltenen Koksfeuers aus. Nach dem Herausnehmen werden die Gegenstände sofort durch Eintauchen in Wasser gehärtet.

Auch ein von Harvey eingeführtes Verfahren zu dem Zwecke, Panzerplatten (für Kriegsschiffe) eine härtere Oberfläche zu verleihen, ohne ihre Sprödigkeit zu erhöhen, verdient Erwähnung. Die aus Flußeisen mit 0,10 bis 0,35 v. H. Kohlenstoff gewalzte Platte wird flach auf ein Bett von trockenem Sand oder feingepulvertem Ton gelegt, welches in einem entsprechend gebauten Glühofen vorgerichtet ist. Auf die obere Fläche der Platte, welche gehärtet werden soll, kommt nun Holzkohlenpulver, dann eine Lage von feuerfesten Steinen. Hierauf wird der Ofen geheizt und die Platte längere oder kürzere Zeit nach Maßgabe ihrer Stärke geglüht. Platten von 170 mm Stärke werden etwa 120 Stunden in dieser Temperatur erhalten; dann nimmt man sie aus dem Ofen und härtet sie, sobald sie auf Kirschrotglut abgekühlt sind, durch Bespritzen mit Wasser. An der Oberfläche der geglühten Platte ist Stahl mit einem Kohlenstoffgehalte von nahe an 1,0 v. H. entstanden; nach der Rückseite der Platte hin nimmt der Kohlenstoffgehalt rasch ab, und bei etwa 75 mm Tiefe beträgt die stattgehabte Anreicherung des Kohlenstoffgehalts nur etwa 0,1 v. H.

Neuerdings benutzt man für den gleichen Zweck auch Leuchtgas, welches über die glühende Platte geleitet wird, und dessen Aethylengehalt die Kohlung bewirkt[1]).

Da der Zweck der Zementierung eine Kohlenstoffanreicherung ist, muß das Gewicht des eingesetzten Eisens entsprechend größer werden. Diese Gewichtszunahme beträgt 0,5 bis 0,75 v. H. des Einsatzgewichts, je nachdem man kohlenstoffärmeren oder kohlenstoffreicheren Stahl darstellte.

Der Verbrauch an frischen Holzkohlen beträgt für 1 t fertigen Stahls im Mittel etwa 45 kg, der Brennstoffaufwand bei Anwendung von Steinkohlen 800 bis 1000 kg; Arbeitslöhne 5 bis 6 Mark. Die Kosten der Zementierung, welche dem Preise des Eisens hinzuzurechnen sind, einschließlich der Ausgaben für Erneuerungsarbeiten und Insgemeinkosten stellen sich für 1 t Stahl gewöhnlich auf 20 bis 25 Mark.

4. Der chemische Verlauf des Zementierens.

Gewöhnlich hatten die in früheren Jahrzehnten angestellten chemischen Untersuchungen des Zementierverfahrens nur die Be-

[1]) Einiges Nähere über beide Kohlungsverfahren für Panzerplatten: „Stahl und Eisen“ 1895, Seite 841.

antwortung der Frage im Auge, ob wirklich feste Kohle von dem ungeschmolzenen Eisen aufgenommen werden und bis in die inneren Teile des Eisenkörpers vordringen könne, oder ob nicht vielmehr Gase, aus den Kohlen entwickelt, die Zementierung bewirkten, indem sie, in die Poren des Eisens eindringend, hier Kohlenstoff abgäben.

Die Frage ist zweifellos zu Gunsten des festen Kohlenstoffs entschieden. Man würde vermutlich auch früher weniger Bedenken getragen haben, eine Zementierung durch festen Kohlenstoff für möglich zu halten, wenn man zugleich den entgegengesetzten Vorgang ins Auge gefaßt hätte, das Glühfrischen, bei welchem dem ebenfalls ungeschmolzenen Eisen Kohlenstoff entzogen wird. Beide Verfahren beruhen auf einer Wanderung des Kohlenstoffs von Molekül zu Molekül, indem das kohlenstoffreichere Molekül seinen Überschuß an das kohlenstoffärmere abgibt; bei dem Glühfrischen wandert auf diese Weise der Kohlenstoff von innen nach außen, bei der Zementierung von außen nach innen.

In verschiedener Weise läßt sich der Beweis für diese Kohlenstoffwanderung erbringen.

Mannesmann glühte Eisenstangen, welche zur Hälfte in gesiebten Ceylongraphit, bei anderen Versuchen in Zuckerkohle oder Ruß, zur anderen Hälfte in gesiebte Schamottestücke verpackt und dann luftdicht in verglaste Tiegel eingeschlossen waren. In allen Fällen zeigte sich die im festen Kohlenstoff befindliche Hälfte stark zementiert, die andere nicht beeinflußt. Äußere Gase hatten bei diesem Versuche keinen Zutritt; die aus dem Kohlenstoff etwa entwickelten Gase aber hätten beide Hälften der Stangen beeinflußen können[1]).

Bei einem anderen, gleichfalls durch Mannesmann angestellten Versuche wurde ein Schmiedeeisenstück mit Spiegeleisen umgossen (durch Einlegen in das im Erstarren befindliche Spiegeleisen) und dann geglüht. Schon nach 21 Minuten langem Glühen hatte sich am Umfange des eingeschlossenen Eisenstücks eine 1 mm starke Stahlschicht gebildet. Der nämliche Erfolg ergibt sich stets, wenn kohlenstoffarmes Eisen in Berührung mit kohlenstoffreicherem geglüht wird; ein Teil des überschüssigen Kohlenstoffs wandert in das kohlenstoffärmere Eisen hinüber, bis Ausgleich stattgefunden hat. Arnold und M'William steckten in einen ausgebohrten zylindrischen Mantel aus nahezu kohlenstofffreiem Eisen einen genau hineinpassenden Stahlkern mit 1,78 v. H. Kohlenstoff und glühten beide 10 Stunden lang im luftleeren Raume bei 1000° C. Abb. 414 zeigt die Verteilung des Kohlenstoffs in dem Querschnitte nach dem Glühen. Der innere schraffierte Teil stellt den Stahlkern, der äußere weiße Teil den Eisenmantel dar. Die Kreislinien bezeichnen die einzelnen Schichten, welche nacheinander durch Abdrehen entfernt und auf ihren Kohlenstoffgehalt untersucht wurden[2]). Die Ziffern lassen das allmähliche

---

[1]) Vergl. Literatur.

[2]) The Journal of the Iron and Steel Institute 1899, I, Seite 85; daraus in „Stahl und Eisen“ 1899, Seite 618.

Abfließen des Kohlenstoffs aus dem Stahl in das weiche Eisen deutlich erkennen.

Der Kohlenstoffgehalt, welchen das Eisen bei der Zementierung überhaupt aufzunehmen vermag, d. i. der Sättigungsgrad des Eisens für Kohlenstoff, steigt mit der Temperatur, und die Zementierung geht um so rascher vor sich, je höher die Temperatur ist. Bei Mannesmanns erwähnten Versuchen zeigte ein Schmiedeeisenstück, in Holzkohle eingepackt und bis zur Weißglut erhitzt, schon nach 45 Minuten eine Kruste weißen Roheisens von 3 bis 5 mm Stärke mit 4,76 v. H. Kohlenstoff, also dem höchsten Kohlenstoffgehalte, den das Eisen mutmaßlich aufnehmen konnte. Ein Eisenstab, in der Zementierkiste der üblichen Temperatur (Hellrotglut) ausgesetzt, enthielt dagegen vom 13. Tage an unverändert 1,2 v. H. Kohlenstoff, auch nachdem das Zementieren noch drei Tage hindurch fortgesetzt worden war.

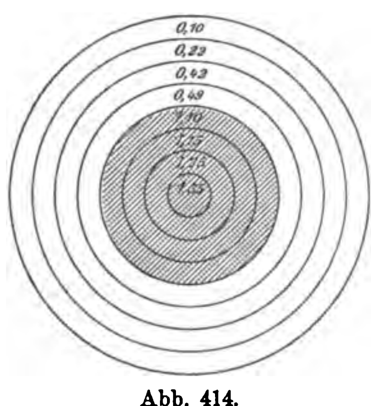


Abb. 414.

Saniter, welcher Eisendraht in einem mit Holzkohlen gefüllten Porzellanrohre bei 900° C. 21 Tage lang glühte, beobachtete in den ersten 7 Tagen eine Kohlenstoffzunahme von 1,54 v. H.[1]), in den folgenden 7 Tagen von 1,15 v.H., in den letzten 7 Tagen nur noch von 0,16 v. H. Je mehr also der schon aufgenommene Kohlenstoffgehalt sich dem Sättigungsgrade nähert, desto langsamer verläuft die Kohlung. Der Draht enthielt zuletzt 2,95 v. H. Kohlenstoff, war also Roheisen geworden.

Nach den Versuchen Arnolds und M'Williams findet in Temperaturen unter 750° C. überhaupt keine Kohlenstoffwanderung statt.

Jene Abhängigkeit des erreichbaren Kohlenstoffgehalts von der Temperatur liefert auch die Erklärung für den scheinbaren Widerspruch, daß Roheisen beim Glühen in Holzkohle unter dem Einflusse des sich entwickelnden Wasserstoffs Kohlenstoff verlieren kann (Seite 398 III), während kohlenstoffarmes Eisen Kohlenstoff aufnimmt. Bei einem von mir angestellten Versuche wurden ein Stück Roheisens mit 2,50 v. H. Kohlenstoff und ein Stück schmiedbaren Eisens mit 0,16 v. H. Kohlenstoff gemeinschaftlich in dasselbe Glühgefäß mit Holzkohle verpackt, ohne sich gegenseitig zu berühren; der Kohlenstoffgehalt des Roheisens war nach dem Glühen auf 2,37 v. H. gefallen, der Kohlenstoffgehalt des schmiedbaren Eisens auf 0,69 v. H. gestiegen. Die Temperatur beim Glühen

[1]) Der Kohlenstoffgehalt des geglühten Stahls war 1,64 v. H., der des ungeglühten war nicht bestimmt, dürfte aber höchstens 0,1 v. H. betragen haben, da der Draht als reiner Eisendraht bezeichnet wird. (Aus dem Journal of the Iron and Steel Institute 1897 II, in „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 958.)

war Gelbglut; sie lag tiefer, als dem höchsten Sättigungsgrade des Eisens für Kohlenstoff entspricht. So konnte das Roheisen an den entwickelten Wasserstoff Kohlenstoff abgeben, während das kohlenstoffarme Eisen Kohlenstoff aufnahm. Mehrere gleiche Versuche mit ähnlichem Ergebnisse bestätigten, daß kein Irrtum vorgelegen hatte [1]).

Aus diesen Einflüssen der Temperatur auf den Verlauf der Kohlung läßt sich folgern, daß bei einem gleichen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalte eines zementierten Eisenstücks der Kohlenstoffgehalt des Kernes um so stärker von dem der Kruste abweicht, je höher die angewendete Temperatur und je kürzer demnach die Zeitdauer des Glühens war. Mannesmanns Versuche liefern auch hierfür den Beweis. Jene Eisenstücke, welche binnen 45 Minuten durch Anwendung von Weißglut äußerlich in Roheisen umgewandelt worden waren, zeigten unter der Roheisenschicht eine etwa 2½ mm starke Stahlschicht und darunter noch unverändertes Schmiedeeisen; mitunter auch ließ sich äußerlich Roheisen und unmittelbar darunter Schmiedeeisen in scharf gesonderten Schichten voneinander unterscheiden. Probestangen dagegen, in der Kiste des Zementierofens bei regelmäßigem Betriebe geglüht, zeigten

nach 7 Tagen eine ½ mm starke Stahlschicht mit 0,65 v. H. Kohlenstoff;
" 8 " " 1 " " " " 0,94 " "
" 9 " " 2 " " " " 0,95 " "
" 10 " " 2,6 " " " " 1,1 " "
" 11½ " " 3 " " " " 1,2 " "
" 13½ " einen annähernd gleichmäßig durch das ganze Stück verteilten Kohlenstoffgehalt von 1,2 v. H.

Dieser zuletzt erreichte Kohlenstoffgehalt nahm auch bei länger fortgesetztem Glühen nicht mehr zu, wie schon erwähnt wurde.

Auch die durch Abb. 414 veranschaulichte Kohlenstoffwanderung zeigt die bedeutenden Abweichungen im Kohlenstoffgehalte, sofern das Glühen vorzeitig unterbrochen wird. Die Zeitdauer des Glühens muß daher von der Stärke des zu glühenden Eisenstücks abhängig sein.

In einzelnen Fällen besaßen bei Mannesmanns Versuchen die zementierten Stäbe Bruchflächen, welche durch ausgeschiedenen Kohlenstoff grau gefärbt waren. Vermutlich war hier Temperkohle entstanden, obgleich in den gewöhnlichen Fällen Temperkohle nicht oder nur in sehr geringen Mengen gebildet wird. Das Verhältnis zwischen Härtungs- und Karbidkohle aber ist im wesentlichen von der rascheren oder weniger raschen Abkühlung des Stahls nach dem Verlassen der Kiste abhängig, wie die auf Seite 412 folgenden Untersuchungsergebnisse zeigen.

Aus der Zusammensetzung der Proben läßt sich schließen, daß der Remscheider Stahl bis zur Abkühlung unter die Härtungstemperatur in der Kiste verblieben ist, während die übrigen Proben im noch glühenden Zustande herausgenommen und dann rasch abgekühlt wurden.

---

[1]) Mitgeteilt in „Stahl und Eisen" 1886, Seite 777.

	Härtungskohle	Karbidkohle	Temperkohle	Gesamtkohle
Remscheider Zementstahl, von mir untersucht . . .	0,19	0,97	0,04	1,20
Bismarckhütter Zementstahl („Stahl und Eisen“ 1899, Seite 914)	0,60	0,82	0,00	1,43
	0,68	0,63	0,00	1,31
	0,74	0,77	0,00	1,51
Schwedischer Zementstahl, von mir untersucht . . .	0,42	1,07	0,00	1,49

Das Verhalten des Schwefels, Phosphors und Siliciums beim Zementieren wurde durch Boussingault geprüft. Er fand, daß der Schwefelgehalt des Eisens regelmäßig eine Verringerung erfahre [1]). Allerdings wird man in Rücksicht auf die hohen Ansprüche, welche an die Beschaffenheit des Zementstahls gestellt werden müssen, niemals ein schwefelreiches Eisen benutzen, so daß dieser Einfluß des Glühens nicht sehr von Belang ist. Der Silicium- und Phosphorgehalt dagegen ließ bei den angestellten Untersuchungen mitunter eine, wenn auch nicht bedeutende Zunahme erkennen [2]). Sollten nicht eine ungleiche Verteilung jener Stoffe im Eisen oder kleine Unrichtigkeiten der Analyse die gefundenen Abweichungen bedingen, so würde die Erklärung der Anreicherung in der stattfindenden Reduktion dieser Körper aus der Asche der teilweise verbrennenden Holzkohle zu suchen sein. Eine Bedeutung für die Beschaffenheit des Zementstahls besitzt auch dieser Vorgang nicht.

Als ein nicht ganz unwichtiger Vorgang beim Zementieren bleibt noch die Reduktion der Eisenoxyde zu erwähnen, welche den Hauptbestandteil der in allem Schweißeisen eingemengten Schlacke bilden. Den Beweis dafür, daß eine solche Reduktion stattfindet, liefert die Entstehung von Blasen an der Oberfläche des zementierten Eisens, welche dem rohen Zementstahle eigentümlich sind und ihm in England den Namen *blister-steel* (Blasenstahl) verschafft haben. Sie treten in Durchmessern von 2 bis 20 mm auf; sticht man eine solche Blase des frisch aus der Kiste genommenen noch glühenden Stahls auf, so läßt sich mitunter das Entweichen eines brennbaren Gases beobachten. Die Blasen sind durch das Kohlenoxydgas hervorgerufen, welches bei der Reduktion der Eisenoxyde entstand und das weiche Eisen, in dem es eingeschlossen war, aufblähte. Flußeisen zeigt daher, wie Percy durch einen Versuch nachwies, diese Blasenbildung nicht.

5. Das Erzeugnis.

Durch das anhaltende Glühen erhält der rohe Zementstahl eine Bruchfläche von grobblättrigem Gefüge und eigentümlich

[1]) Vergl Seite 361 I.

[2]) Bei einem derartigen Versuche betrug z. B. der Gehalt an:

	Silicium	Phosphor
vor dem Zementieren	0,105	0,100
nach dem Zementieren	0,120	0,180

gelblicher Farbe. Bei der Prüfung erweist er sich als brüchig. Durch mechanische Bearbeitung in Schmiedetemperatur läßt er sich in feinkörnigen Stahl mit den seinem Kohlenstoffgehalte entsprechenden Festigkeitseigenschaften umwandeln.

Dennoch verwendet man ihn nicht ohne weiteres in dieser Weise. Sein Kohlenstoffgehalt ist nicht immer ganz gleichmäßig verteilt; auch wenn das Glühen lange genug fortgesetzt war, um das Eindringen des Kohlenstoffs bis zum Kerne der Eisenstücke zu ermöglichen, bedingen doch Zufälligkeiten — Temperaturunterschiede an verschiedenen Stellen der Kiste, ungleiche Berührung mit den Holzkohlen u. a. m. — leicht Abweichungen in dem Kohlenstoffgehalte an verschiedenen Stellen eines und desselben Stahlstücks.

Man beseitigt oder verringert diesen Übelstand, indem man entweder den Zementstahl zu geschweißtem Stahle (Gärbstahl) verarbeitet, d. h. ihn auf dünne Querschnitte ausstreckt, die ausgestreckten Stäbe aufeinander schweißt und abermals streckt, häufiger, wie erwähnt, durch Schmelzen im Tiegel zur Darstellung von Tiegelstahl.

Da der Zementstahl nur aus den reinsten Eisensorten dargestellt wird, zeigen auch seine Analysen nichts Bemerkenswertes. Phosphor, Schwefel, Silicium, Mangan, Kupfer können nur in sehr kleinen Mengen anwesend sein; der Kohlenstoffgehalt richtet sich nach der Bestimmung des fertigen Stahls und pflegt 0,8 bis 1,5 v. H. zu betragen.

Literatur.

Reinhard Mannesmann, Studien über den Zementstahlprozeß. Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes 1879, Seite 31.

Boussingault, Études sur la transformation du fer en acier par la cémentation. Annales de chimie et de physique, Reihe 5, Band 5, Seite 145.

J. Percy, On the cause of the blisters on blister-steel. The Journal of the Iron and Steel Institute 1877 II, Seite 460.

F. L. Garrison, Methods of hardening the surface of armour-plates. Iron, Band 40, Seite 120.

Das Harveysche Kohlungsverfahren. „Stahl und Eisen" 1892, Seite 760 (aus Engineering).

S. O. Arnold, The microchemistry of cementation. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898 II, Seite 185.

C. W. Bildt, Zementierung von Schmiedeeisen. Aus Jernkontorets Annaler 1901, Seite 242 in „Stahl und Eisen" 1902, Seite 438.

R. Bruch, Versuche, Schmiedeeisen mit Leuchtgas, Petroleumdampf, Azetylen- und Kohlenoxydgas zu kohlen. Dissertation. Aachen 1904.

L. Guillet, La cémentation des aciers au carbone et des aciers spéciaux. Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils 1904, Seite 176, daraus in „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1058.

J. O. Arnold und A. Mc William. The diffusion of elements in iron. The Journal of the Iron and Steel Institute 1899, Seite 85, deutsch bearbeitet in „Stahl und Eisen" 1899, Seite 617.

P. Tunner, Die Zementstahlerzeugung. Jahrbuch der k. k. Montananstalt zu Leoben 1854, Seite 113.

A. Ledebur, Einiges über das Zementieren. „Stahl und Eisen" 1906, Seite 72; vergl. auch „Stahl und Eisen" 1906, Seite 478.

VII. Die Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens.

I. Einleitung.

Nur in den selteneren Fällen besitzt das schmiedbare Eisen, wenn es aus dem erzeugenden Verfahren hervorgeht, solche Eigenschaften und eine solche Form, daß es befähigt wäre, ohne weiteres für die Herstellung von Gebrauchsgegenständen Verwendung zu finden. Geglühte Formgußstücke aus Flußeisen und schmiedbarer Guß dienen allerdings, ohne noch eine wesentliche Veränderung ihrer Form und Eigenschaften zu erleiden, als Gebrauchsgegenstände; die übrigen Sorten schmiedbaren Eisens dagegen werden in den Eisenhütten selbst einer Umformung durch Schmieden, Walzen oder Pressen unterzogen, bevor sie in den Handel gebracht werden.

Der erhaltenen Form gemäß kommt das schmiedbare Handelseisen als Stangeneisen, Blech oder Draht in den Handel; hierzu kommen die unter dem Hammer oder der Presse erzeugten Schmiedestücke mannigfacher Art. Das Stangeneisen wird seinem Querschnitte entsprechend wieder in Quadrateisen, Flacheisen, Rundeisen und die vielen Arten Formeisen eingeteilt, welche Benennung alle Eisenstäbe mit weniger einfachen Querschnittsformen umfasst. Es gehören hierher Winkeleisen, T- und I-Eisen, U-Eisen, ⅂_-Eisen, Eisenbahnschienen und zahlreiche andere Eisensorten, deren Querschnitte, den Fortschritten des Bauwesens und der Gewerbtätigkeit entsprechend, einem öfteren Wandel unterworfen sind.

Insofern die Formgebung des schmiedbaren Eisens ein mechanisches Verfahren ist, gehört ihre Beschreibung eher in das Gebiet der mechanischen Technologie als in das der Eisenhüttenkunde; der Eisenhüttenmann aber erreicht durch jene Arbeit noch einen anderen Zweck; er ruft eine Veredelung der Eigenschaften des von ihm erzeugten schmiedbaren Eisens hervor (Seite 47 III), und in Rücksicht hierauf bildet jene Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens auch ein nicht unwichtiges Glied in der Reihe derjenigen Verfahren, welche die Erzeugung eines zur Benutzung in den verschiedenen Gewerben brauchbaren schmiedbaren Eisens zum Zwecke haben und demnach in den Eisenhütten im eigentlichen Sinne ausgeführt werden.

Die Einflüsse, welche durch die mechanische Bearbeitung auf das Gefüge, die Festigkeit, Härte des schmiedbaren Eisens ausgeübt werden, sowie die Abweichungen hierbei, je nachdem die Bearbeitung in höherer oder niederer Temperatur stattfand, wurden schon früher ausführlich erörtert. Auch die Maschinen, welche für die Bearbeitung dienen, fanden im Abschnitt II Besprechung.

Nicht minder wichtig als die unmittelbare Beeinflussung der Eigenschaften ist die bei der Verarbeitung des Schweißeisens erreichbare Reinigung von eingemengter Schlacke, bei der Verarbeitung des Flußeisens die stattfindende Verdichtung durch Zusammen-

drücken der im Innern befindlichen Hohlräume. Da diese Aufgaben verchieden sind, muß auch das anzuwendende Verfahren verschieden sein, je nachdem Schweißeisen, welches von Schlacke gereinigt werden soll, oder schlackenfreies Flußeisen, welches nur einer Verdichtung bedarf, der Verarbeitung unterzogen wird.

2. Die Verarbeitung des Schweifseisens.

a) Allgemeiner Verlauf.

Eine Reinigung des Schweißeisens von Scklacke ist möglich, wenn es in einer Temperatur, bei welcher die Schlacke flüssig wird, ohne daß das Eisen selbst schmilzt (Schweißhitze), einer mechanischen Bearbeitung (Hämmern, Walzen, Pressen) unterworfen wird, unter deren Einwirkung die Schlacke ausfließt. Je niedriger die Schmelztemperatur des Schlacke liegt und je dünnflüssiger die Schlacke in der Bearbeitungstemperatur ist, desto leichter ist ihre Entfernung durch jenes Verfahren zu bewirken (Seite 172 III). Stark basische Schlacken, insbesondere solche, welche Eisenoxyd oder Kalkerde in größeren Mengen enthalten, bleiben auch in hoher Temperatur dickflüssig und lassen sich deshalb nur ungenügend entfernen. Sie heißen trockene Schlacken (Seite 10 III). Ein Manganoxydulgehalt dagegen macht die Schlacke dünnflüssig und ist deshalb förderlich zur Erlangung schlackenarmen Eisens.

Kleine Mengen Schlacke bleiben jedoch stets auch bei sorgfältigster Arbeit in dem Schweißeisen zurück (Seite 172 III).

Schon mehrfach wurde auch des Umstandes gedacht, daß der Schlackengehalt des Schweißeisens um so beträchtlicher zu sein pflege, je größer die mit einem Male dargestellte Menge des Eisens ist. Jene uralten, bei Naturvölkern noch heute betriebenen Verfahren der Schweißeisendarstellung, bei denen eine oft nur wenige Kilogramm schwere Luppe erfolgt, sind deshalb unleugbar zur Gewinnung eines schlackenarmen Eisens gut geeignet, und mit den einfachen mechanischen Hilfsmitteln, welche meistens für die Verarbeitung dieser kleinen Luppen benutzt werden und im Altertume ausschließlich benutzt wurden, läßt sich eben nur ein so schlackenarmes Eisen in ein brauchbares Fertigerzeugnis umwandeln.

Je schlackenreicher das dargestellte Schweißeisen ist, desto ausgedehnter muß die mechanische Verarbeitung sein, um die Reinigung von Schlacke zu bewirken. Die länger fortgesetzte Bearbeitung aber verursacht einen größeren Aufwand an Arbeitslöhnen und Brennstoff, einen erhöhten Eisenverlust durch Abbrand. Zum Teile wird also die Ersparung, welche durch die Herstellung größerer Eisenmengen in einem Einsatze erzielt werden kann, durch jene Mehrausgaben wieder ausgeglichen, und bei allen Verfahren der Schweißeisendarstellung ist durch diesen Umstand für die Vergrößerung des Einsatzgewichtes eine Grenze gesteckt, welche nicht ohne Nachteil überschritten werden kann.

Aus derselben Ursache sah man sich gezwungen, die Kraftleistung der für die Bearbeitung des Schweißeisens bestimmten

Vorrichtungen immer mehr zu erhöhen, je mehr die Steigerung des Eisenbedarfs dazu drängte, die Leistungsfähigkeit des einzelnen Ofens durch Vergrößerung der Einsätze wenigstens bis an die äußerste zulässige Grenze auszudehnen. Aus dem Handhammer des Altertums entwickelte sich der während mehrerer Jahrhunderte fast ausschließlich benutzte Wasserhammer; dieser wurde dann durch das leistungsfähigere Walzwerk und den kräftiger wirkenden Dampfhammer in den Hintergrund gedrängt.

Auch das Arbeitsverfahren muß verschieden sein, je nachdem kleinere, schlackenärmere, oder größere, schlackenreichere Luppen verarbeitet und dabei von Schlacke gereinigt werden sollen.

Wird ein aus kleinem Einsatze erzeugtes und deshalb nicht sehr schlackenreiches Schweißeisen verarbeitet und dabei auf einen verhältnismäßig dünnen Querschnitt ausgestreckt, so genügt häufig dieses einmalige Ausstrecken schon, eine zur Erzielung eines brauchbaren Erzeugnisses ausreichende Reinigung von Schlacke zu bewirken. Dieser Fall kommt bei den alten Verfahren der Schweißeisendarstellung aus Erzen und beim Frischfeuerbetriebe vor. Die Luppen werden, nachdem sie unter dem Hammer gezängt wurden, in mehrere Stücke zerschroten, diese werden schweißwarm gemacht und nun — gewöhnlich ebenfalls unter dem Hammer — zu dünnen Flachstäben ausgestreckt.

Aus den schlackenreicheren Luppen, welche der Puddelofen liefert, läßt sich jedoch durch diese einfache Arbeit noch kein brauchbares Erzeugnis herstellen. Wie früher beschrieben wurde, walzt man die Puddelluppen, unmittelbar nachdem sie gezängt wurden, im Luppenwalzwerke zu Rohschienen aus, d. h. zu Stäben, deren rohes Äußere schon auf ihre unfertige Beschaffenheit hinweist, und welche noch reichlich mit Schlacke durchsetzt sind. Man setzt also die Reinigung fort, indem man die Rohschienen zerschneidet, eine größere Zahl dieser kurzen Stücke zu einem vierseitig prismatischen Bündel, einem Pakete, in geeigneter Weise zusammenlegt, das Paket auf Schweißhitze erwärmt, unter dem Hammer oder in Kalibern zusammenschweißt und nun abermals ausstreckt. Für Feineisendarstellung wird das ausgestreckte Eisen durchgeteilt, und die gewonnenen Stücke, Knüppel oder Prügel genannt, werden aufs neue schweißwarm gemacht, um nun erst zu den Querschnitten des Fertigeisens ausgestreckt zu werden. Entstehende Abfälle werden durch Einlegen in die Pakete mit aufgearbeitet.

Das Paketieren bildet demnach ein Mittel zu einer weitergehenden Reinigung schlackenreichen Schweißeisens als das einfache Ausstrecken der Luppen; aber auch noch andere Vorteile werden durch diese Arbeit erreicht. Die Rohschienen des Puddelverfahrens sind nicht immer von gleichartiger Beschaffenheit. Nicht allein finden sich Abweichungen bei verschiedenen Einsätzen; auch bei einem und demselben Einsatze zeigen die Rohschienen verschiedener Luppen oft Unterschiede, durch das abweichende, teils grobkörnige, teils feinkörnige, teils sehnige Gefüge der Bruchfläche sich verratend. Indem man sie also ihrer Bruchfläche gemäß sondert, erhält man ein Mittel, sie dem jedesmaligen Zwecke ent-

sprechend auszuwählen und zu verwenden, körnige und ungleichartige Stücke auszuschließen, wenn ein gleichmäßig sehniges Eisen verlangt wird, umgekehrt für Feinkorneisen alle grobkörnigen oder sehnigen Stücke beiseite zu legen usf.

Fernerhin erhält man durch das Paketieren die Möglichkeit, die ziemlich bedeutenden Mengen von Abfällen schon geschweißten Eisens wieder aufzuarbeiten, welche auf einem Eisenwerke bei der Arbeit selbst regelmäßig entstehen: Ausschußstücke, abgeschnittene Enden der Fertigerzeugnisse usw. Auch Alteisen, d. h. zum Ankaufe gebrachtes oder aus dem eigenen Inventar des Eisenwerkes stammendes schmiedbares Eisen läßt sich durch die Paketierung wieder nutzbar machen. Alles dieses Eisen ist bereits geschweißt und deshalb schlackenärmer als Rohschienen; nicht selten wird es mit den Rohschienen zusammen in geeigneter Weise in einem und demselben Pakete vereinigt, wenn man ein Erzeugnis mit niedrigerem Schlackengehalte erhalten will, als aus den Rohschienen allein erfolgen würde [1]).

Diesen Vorteilen der Paketierung steht jedoch der Nachteil gegenüber, daß jedes aus einem Pakete gewalzte Eisenstück als ein Bündel zusammengeschweißter und miteinander ausgestreckter Stäbchen oder Plättchen zu betrachten ist, deren gegenseitiger Zusammenhang niemals so vollkommen ist, wie der des ungeschweißten Eisens. Durch Ätzen eines solchen Eisenstückes lassen sich die Schweißfugen erkennbar machen; beim wiederholten Hin- und Herbiegen lösen sich nicht selten die geschweißten Stellen; auch bei anhaltender Beanspruchung durch Drehung oder bei vielfach wiederholten heftigen Erschütterungen kann dieser Übelstand eintreten. Bei dem kohlenstoffreicheren Eisen, dem Stahle, kommt aber noch hinzu, daß an jeder Schweißstelle auch eine chemische Beeinflussung stattfindet. Kohlenstoff verbrennt, teils durch die Berührung mit oxydierenden Gasen beim Erhitzen, teils durch die Einwirkung des entstandenen Glühspans. Das Erzeugnis enthält demgemäß kohlenstoffärmere, weichere Stellen neben härteren, und je weniger Vorsorge zur Vermeidung der Oxydation und Glühspanbildung beim Erhitzen getroffen wurde, desto deutlicher macht sich dieser Umstand geltend.

Trotz dieser Nachteile ist aus den erörterten Gründen das Verfahren des Paketierens nicht zu umgehen, wenn entweder eine weitgehende Reinigung schlackenreichen Schweißeisens erforderlich ist, oder wenn Eisen, welches aus dem Erzeugnisverfahren in ungleichartiger Beschaffenheit hervorging, nach vorausgegangener Sonderung zu Handelsware von gleichartiger Beschaffenheit verarbeitet werden soll.

Da bei dem Zängen der Luppen und Auswalzen zu Rohschienen eine erste Schweißung stattfindet, nennt man das aus Paketen gewalzte Eisen doppelt geschweißt.

---

[1]) Durch Einführung des Martinverfahrens hat allerdings das Paketieren als Mittel zur Aufarbeitung von Alteisen wesentlich an Bedeutung verloren; wo man aber nur Schweißeisen, nicht Flußeisen, erzeugen will, leistet es auch jetzt noch für jenen Zweck gute Dienste.

b) Die Schweißfeuer und ihr Betrieb.

Man benutzt Schweißfeuer teils für den Betrieb im kleineren Maßstabe, z. B. zum Erhitzen der Luppen eines Frischfeuers, teils auch für das Schweißen kohlenstoffreicheren Stahls, welcher vor Oxydation geschützt werden soll.

Die einfachste Form eines Schweißfeuers für Schmiedeeisenluppen ist die eines größeren Schmiedefeuers, wie es in allen Schmiedewerkstätten benutzt wird. Die in einem gemauerten oder auch gußeisernen Herde angebrachte Feuergrube ist 250 bis 300 mm tief, 350 bis 450 mm breit, 500 bis 600 mm lang. Von der einen Seite oder senkrecht vom Boden aus strömt der Wind in das Feuer. Als Brennstoff dienen gewöhnlich backende Steinkohlen von Nußgröße, welche vermöge ihrer Backfähigkeit ein im Innern glühendes Gewölbe über dem Eisenstücke bilden. Soll Brennstoff nachgeschüttet werden, so stößt der Schweißer die Kohlendecke ein und bringt die frischen Kohlen oben darauf, welche alsbald zusammenbacken und eine neue Decke bilden. Mit dem zu erhitzenden Eisen kommen auf diese Weise nur die entschwefelten und bereits entgasten Kohlen in Berührung; ohne diesen Kunstgriff würde die Beschaffenheit des Eisens durch Aufnahme von Schwefel Einbuße erleiden können. Der Windverbrauch eines solchen Feuers beträgt gewöhnlich 2 bis 3 cbm in der Minute, die Windspannung 150 bis 200 mm Wassersäule. Der Steinkohlenverbrauch für 1 t geschweißten Eisens, welcher sich nach der Größe der eingesetzten Eisenstücke und der Zahl der nach einander erforderlichen Erhitzungen richtet, beträgt für jede erforderliche Schweißhitze durchschnittlich etwa 500 kg. Dabei findet ein Gewichtsverlust (Abbrand) von 6 bis 12 v. H. des Einsatzgewichts bei jeder Erhitzung statt[1]).

Stahl erträgt um so weniger gut eine Erhitzung im Steinkohlen- oder Koksfeuer, je höher sein Kohlenstoffgehalt ist. In der kohlendioxydreichen Gasatmosphäre, welche bei Verbrennung dieser Brennstoffe entsteht, findet leicht eine teilweise Verbrennung seines Kohlenstoffgehalts statt. Zu seiner Erhitzung sind deshalb die leichter verbrennlichen, reichlichere Mengen von Kohlenoxydgas liefernden Holzkohlen geeigneter, und ihr geringer, fast nur aus Karbonaten der Erden und Alkalien bestehender Aschengehalt macht sie in anderer Hinsicht gerade zum Schweißen des Stahls besonders tauglich. In Rücksicht auf das geringere spezifische Gewicht der Holzkohlen und die Notwendigkeit, den zu erhitzenden Stahl vollständig mit Holzkohlen zu umgeben, baut man die Holzkohlenfeuer tiefer (500 bis 600 mm tief) als die Steinkohlenfeuer und gibt ihnen häufig eine gemauerte Decke zur leichteren Erzielung einer gleichmäßigen Temperatur im Innern. Die Abbildungen 415 und 416 zeigen die Einrichtung zweier solcher, noch

[1]) Als Abbrand pflegt man den gesamten Gewichtsverlust des Einsatzes beim Erhitzen und Ausstrecken zu bezeichnen. Hierin ist demnach auch das Gewicht der ausfließenden Schlacke inbegriffen, deren Menge bei jeder folgenden Schweißung geringer wird; hieraus erklärt es sich, daß jener Abbrand bei der ersten Schweißung sich regelmäßig höher beziffert als bei den folgenden.

heute benutzter Holzkohlenfeuer aus älterer Zeit[1]. *a* ist der Feuerungsraum, etwa 370 mm breit, 700 mm lang, 550 mm tief, in welchen von der Seite her der Wind zugeführt wird. Die Bedienung des Feuers erfolgt durch die an der Vorderseite angebrachte Öffnung *b* (Abb. 416), und darunter an der tiefsten Stelle des Feuers befindet sich das Schlackenloch *c*. Die Gase beider Feuer entweichen durch den gemeinschaftlichen Rauchfang *f*.

Nicht selten sind die Stahlschweißfeuer auch den Frischfeuern, in welchen der Stahl erzeugt wird, ähnlich eingerichtet. In Steiermark benutzt man solche Feuer, etwa 500 mm breit, 550 mm lang, mit eisernen Platten (Zacken), wie die Frischfeuer, ausgesetzt.



Abb. 415. Abb. 416.

Die Brennstoffausnutzung in einem Holzkohlenfeuer ist, weil der größere Teil des Brennstoffs zu Kohlenoxydgas verbrannt wird, durchschnittlich ungünstiger als im Steinkohlen- oder Koksfeuer. 1 t Stahl pflegt zu einmaliger Schweißung 1000 bis 1500 kg Holzkohlen zu beanspruchen[2]; der Abbrand dabei beträgt 3 bis 6 v. H., bei der ersten Schweißung am meisten, später weniger.

c) Die Schweißöfen und ihr Betrieb.

Als Schweißöfen dienen Flammöfen, auf derem Herde das zu schweißende Eisen erhitzt wird. Sie sind unentbehrlich für den Großbetrieb, nicht allein, weil sie die gleichzeitige Erhitzung einer größeren Anzahl eingesetzter Eisenstücke oder Pakete ermöglichen, sondern auch, weil eine gleichmäßige Erhitzung größerer Stücke in ihnen leichter als in einem Feuer erreichbar ist, in welchem die

[1] Aus Kerl, Grundriß der Eisenhüttenkunde.
[2] „Stahl und Eisen" 1889, Seite 489.

Wärmeentwicklung immerhin nur auf einen ziemlich kleinen Raum beschränkt bleibt.

Sowohl Rost- als Gasfeuerung kommt zur Heizung der Schweißöfen zur Anwendung; Schweißöfen mit Gasfeuerung sind ziemlich häufig. Die gleichmäßig hohe Temperatur, welche in einem Schweißofen erhalten werden muß, läßt die Benutzung der Gasfeuerung für diesen Zweck als gut geeignet erscheinen.

Die abziehenden Gase, welche aus dem heißen Ofen eine bedeutende Menge Wärme entführen, pflegt man bei den Öfen mit Rostfeuerung und denjenigen Gasöfen, deren Eigentümlichkeit nicht diese Verwendung ausschließt, zum Heizen der Dampfkessel zu benutzen, welche den zum Betriebe der Walzwerke erforderlichen Dampf liefern. Die Anordnung der Öfen und Dampfkessel gegeneinander ist in diesem Falle die nämliche wie bei Puddelöfen. Auch hier kann die Abhitze der Öfen zur Heizung der Dampfkessel ausreichen, falls die Maschinen mit geringem Dampfverbrauche arbeiten und die sonstigen Umstände günstig sind.

Ein Schweißofen mit Rostfeuerung ist in Abb. 417 bis 419 in $^1/_{50}$ der wirklichen Größe dargestellt. Der Herd des Ofens ist flach und wird durch eine Sandschüttung auf Gußeisenplatten gebildet, welche von einer Seitenwand zur anderen hinübergehen. Seine Breite beträgt 1,3 bis 1,8 m, seine Länge 2,2 bis 3 m. Wasserkühlung, wie bei Puddelöfen, ist selten oder gar nicht in Anwendung, da hier die zerstörende Einwirkung der Schlacken wegfällt; der Feuerbrücke dagegen gibt man nicht selten eine Luftkühlung (Abb. 417), aus einem hindurchgehenden Kanale bestehend, welchen man an der Rückseite des Ofens in ein senkrechtes, als Esse wirkendes Rohr ausmünden läßt. Die Feuerbrücke ist um so niedriger, je stärker das auf dem Herde befindliche Eisen erhitzt werden muß und je weniger es vor der Oxydationswirkung der Gase geschützt zu werden braucht; bei Öfen also, welche ausschließlich zum Schweißen von sehnigem Eisen bestimmt sind, niedriger als bei solchen für Feinkorneisen oder Stahl. Ihre Oberkante liegt 0,1 bis 0,4 m über dem Herde und 0,35 bis 0,70 m über dem Roste.

Damit die aus dem oxydierten Eisen und dem Herdsande sich bildende Schlacke abfließen könne, gibt man dem Herde eine Neigung abwärts, sowohl in der Richtung des Gasstromes als nach der Rückseite des Ofens zu. Durch den steil abfallenden Fuchs gelangt alsdann die Schlacke in eine Vertiefung, aus welcher sie durch eine in der Seitenwand des Fuchskanals angebrachte Öffnung ununterbrochen in einen außerhalb befindlichen Sumpf (*a* in Abb. 417 und 418) abfließt, wo sie erstarrt.

Die Größe der Türöffnung muß dem Durchmesser der einzusetzenden Pakete und Eisenstücke entsprechend bemessen sein. Die Tür besteht, wie die anderer Flammöfen, aus einem Gußeisenrahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen und wird durch Hebel und Kette zwischen Führungsleisten emporgezogen.

Um der durch die Tür veranlaßten Abkühlung entgegenzuwirken, ist es auch bei Schweißöfen (wie bei Puddelöfen) üblich, die Decke von der Rückseite des Ofens nach der Türseite etwas

ansteigen zu lassen (Abb. 419) und die Mittellinie des Fuchses etwas näher an die Türseite als an die Rückseite zu legen, um hierdurch die Flamme mehr nach vorn zu ziehen [1]).

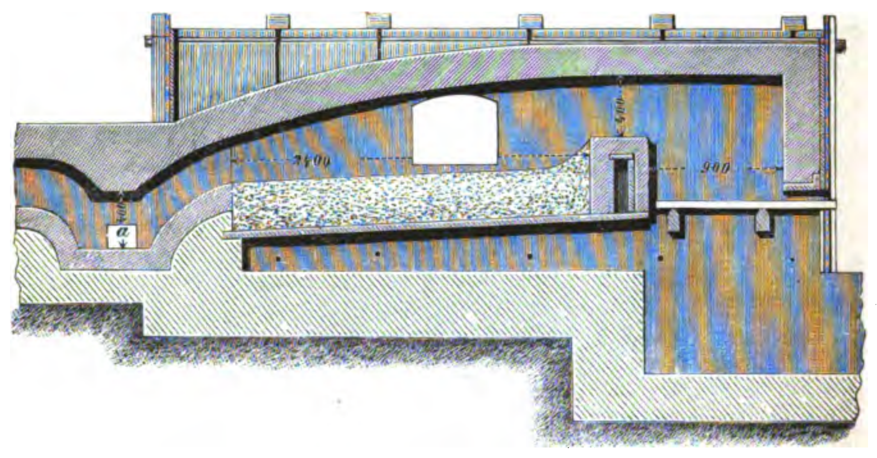


Abb. 417.

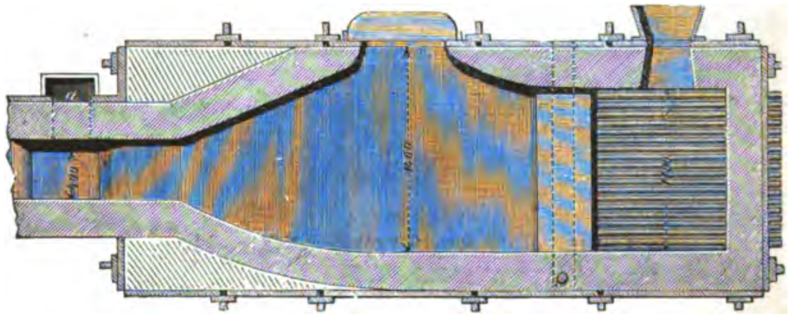


Abb. 418.

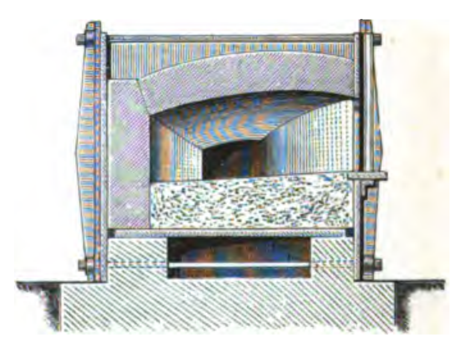


Abb. 419.

Der Rost besitzt 0,8 bis 1,8 qm Fläche. Unterwind kommt, wie bei anderen Flammöfen mit Rostfeuerung, auch bei Schweißöfen nicht selten zur Anwendung, und diese kann zur Brennstoffersparung beitragen, sofern der Brennstoff nicht zu aschenreich ist.

Die Größe der Einsätze bei diesen Öfen beträgt, abweichend nach dem Gewichte der einzelnen Stücke oder Pakete, 600 bis 2500 kg.

---

[1]) Bei dem abgebildeten Ofen ist die letztere Regel nicht befolgt; die Mittellinie des Fuchses liegt in der Verlängerung der Mittellinie des Rostes.

Sollen größere Einsätze gegeben werden, z. B. beim Walzen schwerer Träger, so versieht man den Ofen, wie die früher be-

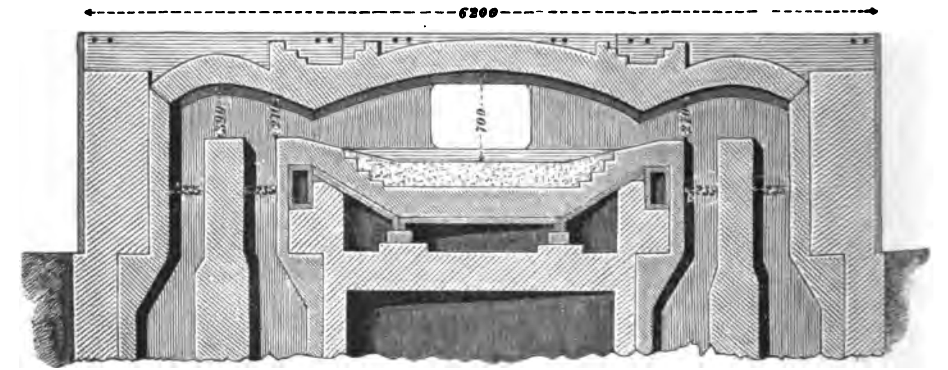


Abb. 420.

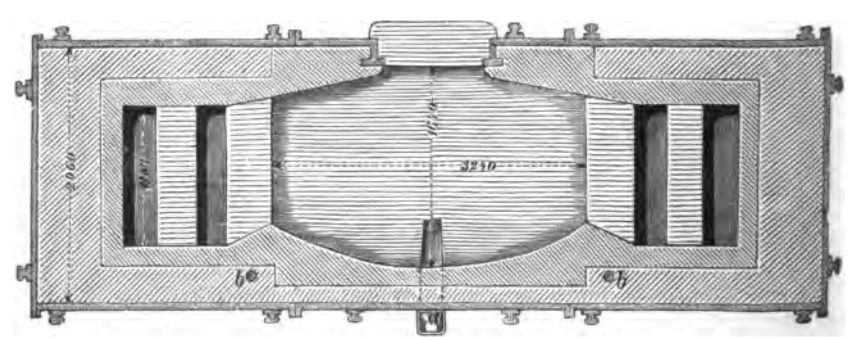


Abb. 421.

schriebenen Doppelpuddelöfen (Seite 204 III), mit Türen an beiden Seiten und wird dadurch befähigt, dem Herde eine Breite bis zu 4,5 m zu geben. Für Öfen dieser Art ist Gasfeuerung besser als Rostfeuerung geeignet, weil sie die Entwicklung längerer Flammen und dadurch die Ausdehnung der Herdlänge auf 4 m oder noch etwas darüber ermöglicht.

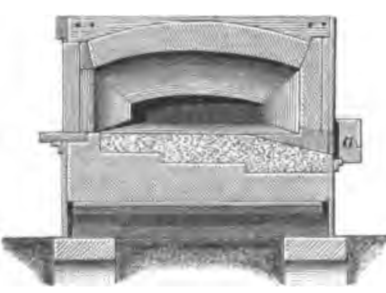


Abb. 422

Die meisten der überhaupt eingeführten Gasfeuerungen haben auch beim Schweißofenbetriebe Verwendung gefunden, manche waren von vornherein für den Schweißofenbetrieb bestimmt. Häufig bediente man sich in den siebenziger und achtziger Jahren des 19. Jahrhunderts des Bicherouxofens (Seite 173 I), auch der Boötiusofen (Seite 168 I) war vornehmlich zum Schweißen be-

stimmt. Die auf Seite 173 und 174 I gegebenen Abbildungen dieser Öfen stellen Schweißöfen dar. In der Jetztzeit sind beide Ofenformen seltener geworden.

Siemensöfen haben seit ihrer Erfindung bis jetzt unverminderte Benutzung auch zum Schweißen gefunden und sich besonders in denjenigen Fällen bewährt, wo geringwertigere Brennstoffe zum Heizen dienen sollten. Ein Schweißofen mit Siemensfeuerung, für die Heizung mit Braunkohlengas bestimmt, ist in Abb. 420 bis 422 dargestellt. Der Ofen ist mit liegenden Wärmespeichern, stark gewölbter Decke und einfach angeordneter Gas- und Luftzuführung versehen; er unterscheidet sich von anderen Siemensöfen, z. B. Martinöfen, im wesentlichen nur durch die flachere Form des Herdes. Letzterer besteht, wie bei den Öfen mit Rostfeuerung, aus einer Lage Quarzsand und wird von eisernen Platten getragen. Der Schlackenabfluß findet sich an der Rückseite des Ofens bei *a*, und der Herd fällt von allen Seiten her nach dieser Stelle hin ab. Die Feuerbrücken sind durch Luftröhren gekühlt, welche mit den kleinen Essenröhren *bb* (Abb. 421) in Verbindung stehen.

Großen Öfen dieser Art gibt man statt der einen Einsatztür zwei bis vier auf derselben Seite, und wenn die Herdbreite erheblich ist, auch Türen auf beiden Seiten, wie schon erwähnt[1]).

Das Arbeitsverfahren für die Bedienung der Schweißöfen ist ziemlich einfach. Die zu erhitzenden Pakete werden mit Hilfe einer breiten Schaufel durch die geöffnete Tür in den Ofen geschoben und an geeigneter Stelle der Einwirkung der Flamme preisgegeben. Ist das Gewicht der einzusetzenden Stücke (Pakete) beträchtlich, so wird die Schaufel wohl an einer Laufkatze aufgehangen, welche ihre Bewegung erleichtert. Sind die Stücke schweißwarm geworden, so wendet man sie, so daß die zu unterst befindliche, weniger stark erhitzte Seite oben zu liegen kommt; wenn auch diese Seite genügend erhitzt ist, werden sie herausgeholt. Bei kleineren Stücken (Paketen) bedient man sich dazu einer Zange; größere müssen mit Hilfe eines eisernen Hakens herausgezogen werden, welcher entweder von Hand oder bei sehr schweren Paketen durch eine einfache mechanische Vorrichtung bewegt wird. In Abb. 423 und 424 a. f. S. ist ein solcher für die Bedienung zweier Schweißöfen bestimmter Paketzieher dargestellt[2]). Der Kolben des senkrecht stehenden Wasserdruckzylinders trägt zwei Rollen, über welche Ketten geführt sind. Das eine Ende jeder Kette ist an einem angegossenen Vorsprunge des Zylinders befestigt, das andere, über die unten befindliche Rolle geführte Ende an den zum Herausziehen bestimmten Haken angeschlossen. Wird Druckwasser in den Zylinder geleitet, so treibt dieses, indem es zwischen dem Kolben und der Zylinderwand nach unten gelangt, den Kolben aufwärts, und der Haken zieht das Paket aus

[1]) Abbildung eines solchen großen Schweißofens mit Siemensfeuerung: „Stahl und Eisen“ 1898. Seite 982 und 983.

[2]) Von der Duisburger Maschinenbau-Aktiengesellschaft gebaut („Stahl und Eisen“ 1898, Seite 994.

dem Ofen; durch sein eigenes Gewicht sinkt der Kolben wieder, wenn dem Druckwasser Auslaß gegeben wird. Ein in den Zylinder eingesetzter Holzklotz dient zum Aufsetzen des Kolbens im tiefsten Stande.

Zur Bewegung der herausgezogenen Pakete nach dem Walzwerke kann ein zweirädriger eiserner Wagen dienen; kleine Stücke werden mit der Zange auf dem Erdboden geschleift. Zuerst werden die an der heißesten Stelle des Ofens (in der Nähe der Feuerbrücke) befindlichen Stücke nacheinander herausgenommen; während diese ausgewalzt werden, bringt man, sofern es erforderlich ist, die

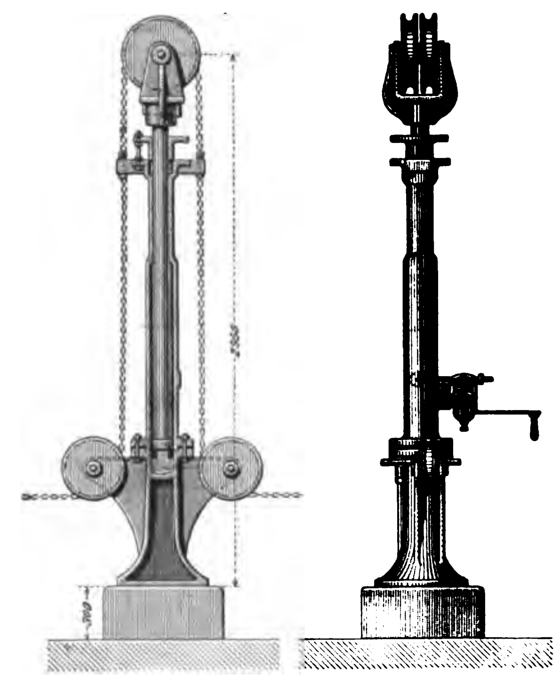


Abb. 423. Abb. 424.

übrigen an die von jenen im Ofen vorher eingenommene Stelle, um auch sie der höheren Temperatur auszusetzen.

Der Brennstoffverbrauch richtet sich nach der Einrichtung und Größe der Öfen und nach der Größe der eingesetzten Stücke. Bei Schweißöfen mit Rostfeuerung beträgt der Steinkohlenverbrauch für 1000 kg einmal geschweißten Eisens 400 bis 700 kg. Bei Gasschweißöfen ist der Verbrauch niedriger; Siemensöfen mit Steinkohlengasfeuerung erfordern gewöhnlich 200 bis 350 kg Steinkohlen für 1000 kg Eisen. Bei Braunkohlengasfeuerung fällt der Brennstoffverbrauch um so viel höher aus, als der Brennwert der Kohlen geringer ist, und kann 400 bis 800 kg für 1000 kg Eisen betragen.

Der Gewichtsverlust (Abbrand) beim Schweißen richtet

sich teils nach dem Schlackengehalte des zu schweißenden Eisens, teils nach der Form und Größe der eingesetzten Stücke, teils auch nach der Einrichtung des Ofens und der Beschaffenheit des Brennstoffs. Bei der Schweißung von Paketen ergibt sich in der Regel ein Abgang von 9 bis 12 v. H. des Einsatzgewichts; wird das ausgewalzte oder geschmiedete Paket noch einmal erhitzt, so ist der Abbrand hierbei geringer und beträgt gewöhnlich 4 bis 5 v. H.

Die Anzahl der Einsätze, welche in einem Schweißofen im Laufe eines Tages verarbeitet werden können, richtet sich nach der Größe der Stücke oder Pakete, da deren Erhitzung um so längere Zeit beansprucht, je größer sie sind. Beim Schweißen sehr großer Pakete kann man in 24 Stunden bisweilen nicht mehr als 9 Einsätze verarbeiten, beim Schweißen dünner Stücke kann die Zahl auf 24 steigen. Auf 1 qm Herdfläche bezogen beträgt das Gewicht des in 24 Stunden erhitzten Eisens 4,5 bis 6,5 t.

In jeder Schicht sind gewöhnlich zwei Mann, ein Vorarbeiter und ein Gehilfe, an jedem Ofen beschäftigt.

Als ein Nebenerzeugnis des Schweißofenbetriebes entsteht die Schweißofenschlacke, in ihrem Aussehen und ihrer Zusammensetzung der Puddel- oder Frischfeuerschlacke ähnlich und wie diese reich an Eisen. Die meisten derartigen Schlacken enthalten 20 bis 30 v. H. Kieselsäure, 50 v. H. oder etwas mehr Eisen, größtenteils in Form von Oxydul, teilweise jedoch auch höher oxydiert, daneben gewöhnlich Phosphorsäure (selten mehr als 1 v. H.), sowie kleine Mengen Schwefel. Mangan kann der Entstehungsweise der Schlacken gemäß nur in sehr geringer Menge zugegen sein.

Man benutzt die Schweißofenschlacken als Zusatz zu den Hochofenbeschickungen oder als Zuschlag beim Puddeln.

3. Die Verarbeitung des Flufseisens.

a) Allgemeiner Verlauf.

Da bei der Verarbeitung des Flußeisens die Reinigung von Schlacke außer Betracht kommt, welche bei der Verarbeitung des Schweißeisens so wesentlich den Verlauf der Arbeit bedingt, ist das Verfahren im ganzen einfacher als in dem letzteren Falle. Es kommt in der Hauptsache nur darauf an, jene prismatischen Blöcke, welche das erste Erzeugnis der Verfahren für Flußeisendarstellung bilden, zu verdichten und dabei der beabsichtigten Formveränderung zu unterziehen.

Das bei der Verarbeitung des Schweißeisens gewöhnlich unumgängliche Paketieren fällt demnach bei der Verarbeitung des Flußeisens weg. Es ist nicht nur entbehrlich, sondern es würde sogar durch die Bildung von Schweißstellen den Wert der Erzeugnisse abmindern. Ihre Herstellung geschieht aus dem vollen, ungeschweißten Blocke, dessen Größe von vornherein dem Gewichte des jedesmal zu fertigenden Stückes angepasst werden kann. In

dieser Abwesenheit aller Schweißstellen liegt eben ein wesentlicher Vorzug des Flußeisens, wie schon früher bei verschiedenen Gelegenheiten hervorgehoben worden ist.

Die Verdichtung des Flußeisens fällt um so vollkommener aus, je stärker die auf den Block ausgeübte Kraftwirkung ist; andererseits nimmt die Schwierigkeit, auch auf die innersten Teile des Blockes die Verdichtung auszudehnen, mit dessen Durchmesser zu. Deshalb glaubte man in den ersten Jahrzehnten nach Einführung der neueren Verfahren der Flußeisendarstellung, schwere Dampfhämmer für die erste Verdichtung der Blöcke benutzen zu müssen, deren Schlagwirkung man für günstiger hielt als die Wirkung des Walzens. Das Schmieden ist jedoch eine zeitraubende und deshalb kostspielige Arbeit; es erfordert wegen der öfter notwendigen Erhitzungen der Blöcke einen erhöhten Aufwand an Kohlen, und wenn die Blöcke während des Schmiedens an der Außenfläche allzusehr abkühlen, kann es geschehen, daß sie hier Risse bekommen, welche die Entstehung unganzer Stellen in dem Fertigerzeugnisse veranlassen, wenn sie nicht vor dem erneuerten Erhitzen mit dem Meißel ausgehauen werden. Je mehr man daher lernte, durch Benutzung der früher erörterten Mittel, insbesondere auch durch entsprechende Regelung der chemischen Zusammensetzung des Flußeisens, schon beim Gießen dichte Gußblöcke zu erzeugen, eine desto triftigere Veranlassung erhielt man, die Verdichtung der Blöcke durch Schmieden zu umgehen und durch das Walzwerk ebensowohl die Verdichtung als die Formgebung bewirken zu lassen. Je größer aber die Blöcke gegossen werden, desto geringer ist nach Früherem die Gefahr, daß ihre Dichtigkeit übermäßig durch eingeschlossene Gasblasen geschmälert werde. Die Einführung der früher (S. 135, 142 III) besprochenen Blockwalzwerke ist in dieser Hinsicht von Nutzen gewesen. Man gießt die Blöcke in reichlichen Abmessungen, gibt ihnen auf dem Blockwalzwerke die erste Verdichtung und Formgebung und teilt sie dann, wenn erforderlich, in mehrere Stücke, um aus ihnen nunmehr die Fertigerzeugnisse zu walzen. Auch die Herstellungskosten werden hierdurch erniedrigt.

Daß bei Herstellung solcher Gegenstände, deren Formgebung im Walzwerke nicht möglich ist, der Hammer in der Jetztzeit häufig und mit Vorteil durch die Presse ersetzt wird, ist schon bei Besprechung dieser Vorrichtungen hervorgehoben worden.

b) Die Wärmöfen.

Die Temperatur, auf welche das Flußeisen, um verarbeitet zu werden, erhitzt werden muß, liegt durchgängig etwas niedriger als für die Verarbeitung des Schweißeisens erforderlich ist. Nur die kohlenstoffärmsten Sorten Thomas- oder Martineisen ertragen überhaupt eine Temperatur, welche der Schweißtemperatur des sehnigen Schweißeisens nahe liegt; je reicher an Kohlenstoff, Silicium oder Mangan das Flußeisen ist, desto leichter ist es der Gefahr des Verbrennens (S. 73 III) oder des beginnenden Schmelzens unterworfen in desto weniger hoher Temperatur muß es verarbeitet werden. Auch Schweißstahl erträgt und verlangt stärkere Erhitzung

für eine günstig verlaufende Verarbeitung als Flußstahl mit dem gleichen Kohlenstoffgehalte.

Aus diesem Grunde, und weil eine Schweißung nicht beabsichtigt ist, nennt man die Öfen, in welchen die Erhitzung der Flußeisenblöcke vorgenommen wird, Wärmöfen, um sie von den für die Erhitzung des Schweißeisens bestimmten Schweißöfen zu unterscheiden.

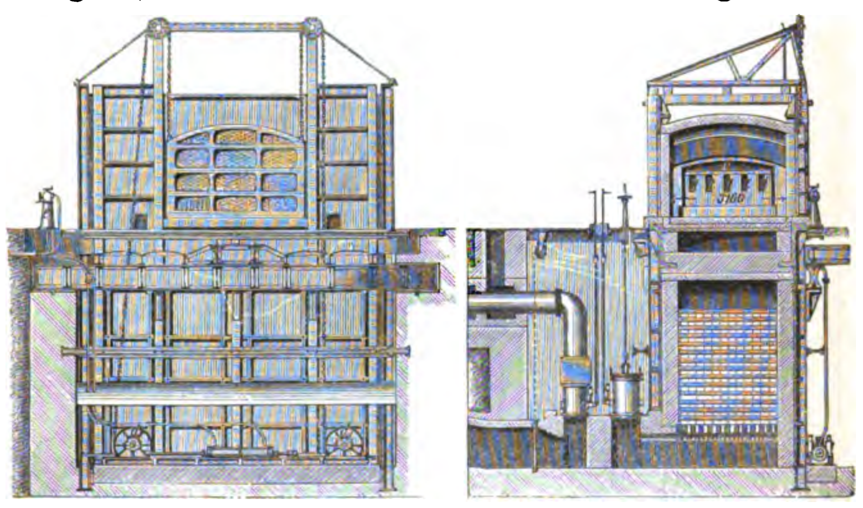


Abb. 425. Abb. 426.

Die Wärmöfen sind Flammöfen, den Schweißöfen bisweilen ähnlich. Da beim Erhitzen der Blöcke nicht, wie beim Erhitzen der Schweißeisenpakete, Schlacke ausfließt, kann ihr Herd wagerechte Lage erhalten, sofern nicht besondere Gründe die Anwendung eines geneigten Herdes zweckmäßiger erscheinen lassen; statt der Sandfüllung, welche bei den Schweißöfen die Bildung einer dünnflüssigen Schlacke befördert, kann Mauerung als Herdsäule dienen. Die Feuerbrücke pflegt etwas höher als bei den Schweißöfen zu sein, um die Blöcke vor der unmittelbaren Berührung der Flamme zu schützen. Man wendet Öfen mit Rostfeuerung und mit Gasfeuerung an; zum Heizen großer Wärmofen ist Siemensfeuerung häufig in Anwendung.

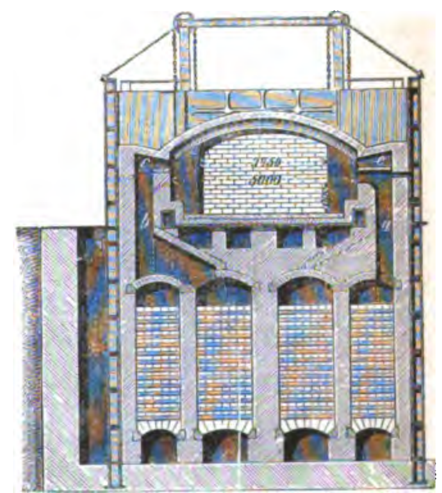


Abb. 427.

Einen solchen großen Wärmofen mit Siemensfeuerung, auf dem Eisenwerke Creusot in den siebziger Jahren des 19. Jahr-

hunderts erbaut und zum Wärmen der Blöcke für den in Abb. 259 auf Seite 109 III dargestellten Hammer bestimmt, zeigen die Abbildungen 425 bis 427 auf Seite 427 in $^1/_{200}$ der wirklichen Größe[1]. Die Anordnung der Wärmespeicher ist in Abb. 427 erkennbar. Das Gas tritt durch die fünf Kanäle *aa*.. in den Ofen; die Luft steigt aus den mittleren Wärmespeichern in ebenfalls fünf Kanälen *b* empor, um dann durch den breiten Spalt *c* oberhalb des Gases in den Heizraum zu gelangen. Die Feuerbrücken sind hoch, die Decke stark gewölbt. Feuerbrücken und Bodenplatte sind durch hindurchgehende Luftkanäle kühl erhalten. Die Einsatztür besteht, wie bei anderen Öfen, aus einem Eisenrahmen mit feuerfestem, aus Ziegeln hergestelltem Futter; zum Emporziehen dient der in Abb. 425 sichtbare, vertieft liegende Wasserdruckzylinder, von welchem aus durch Vermittelung von Zahnstangen, Kettenrollen und Ketten die Bewegung übertragen wird. Die Steuerung des Wasserdruckzylinders wird von der Hüttensohle aus bewirkt; *e* in Abb. 425 stellt die Steuerungsvorrichtung dar.

Sollen Gegenstände von sehr bedeutenden Abmessungen und bedeutendem Gewichte erhitzt werden, z. B. Panzerplatten, so trennt man den Herd (Boden) des Ofens von den Seitenwänden und versieht ihn mit Laufrädern, um ihn auf Schienen herausrollen und außerhalb des Ofens mit Hilfe von Kranen besetzen und entladen zu können. Die Bewegung geschieht durch Wasserdruck oder Dampf, die Heizung des Ofens im wesentlichen in gleicher Weise wie die des Ofens Abb. 427. Ein Ofen dieser Art, zum Erhitzen von Panzerplatten auf den Vickers' Works in Sheffield bestimmt, ist in Abb. 428 bis 430 dargestellt[2]. In Abb. 428 ist der fahrbare Herd erkennbar. Die Wärmespeicher erstrecken sich unterhalb des Ofens in dessen ganzer Länge. Gas und Luft treten in der Mitte der Länge ein und verteilen sich von hier nach beiden Seiten (Abb. 429). Aus der Decke der Wärmespeicher zieht das Gas durch fünf, die Luft durch zehn an der Längsseite des Ofens liegende Kanäle nach oben, so daß je ein Gaskanal zwischen zwei Luftkanälen sich befindet, und an der gegenüberliegenden Seite ziehen die Verbrennungsgase durch ebensolche Kanäle ab. Der Herd wird durch fünf auf Schienen rollende Räderpaare getragen. Um das Eindringen kalter Luft in den Ofen an den seitlichen Begrenzungen des Herdes zu verhindern, sind hier Rinneneisen befestigt, die mit Sand gefüllt werden, und in welche je eine vor dem Fuße des Ofens herabhängende Bordplatte eingreift (Abb. 428).

In Fällen, wo in regelmäßiger Folge zahlreiche prismatische Blöcke von gleichen Abmessungen gewärmt werden sollen (z. B. für Eisenbahnschienendarstellung), kann man bei Einrichtung des Wärmofens mit gutem Erfolge von dem Gegenstromgesetz (S. 63 I) Anwendung machen, wodurch die Anlage einer kostspieligen Siemensfeuerung entbehrlich wird. Man gibt dem Ofen einen langgestreckten, zur Aufnahme zahlreicher Blöcke bestimmten Herd,

---

[1]) A. v. Kerpely, Eisen und Stahl auf der Weltausstellung zu Paris im Jahre 1878.

[2]) Aus Engineering Band 64, Seite 592.

auf welchem die Blöcke der Wärmequelle stetig näher gerückt werden, sobald die erhitzten Blöcke, welche bereits am längsten im Ofen verweilten, diesen verlassen. Da die Bewegung der Blöcke durch Kippen (Rollen) auf der Herdsohle bewirkt wird, damit alle Seiten jedes Blockes möglichst gleichmäßige Erwärmung erhalten, hat man den Öfen den Namen Rollöfen gegeben. Sie sind meistens mit Rostfeuerung — mit oder ohne Unterwind — versehen. Um die Bewegung der Blöcke zu erleichtern, ist der Herd von der Einsatztür an bis zur Feuerbrücke, in deren Nähe die gewärmten Blöcke herausgenommen werden, abwärts geneigt. Die Abbildungen 431 und 432 zeigen einen solchen Rollofen[1]). Die

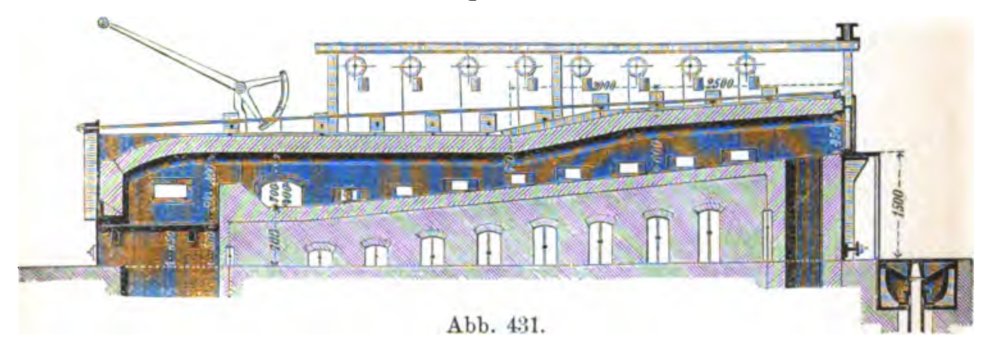


Abb. 431.

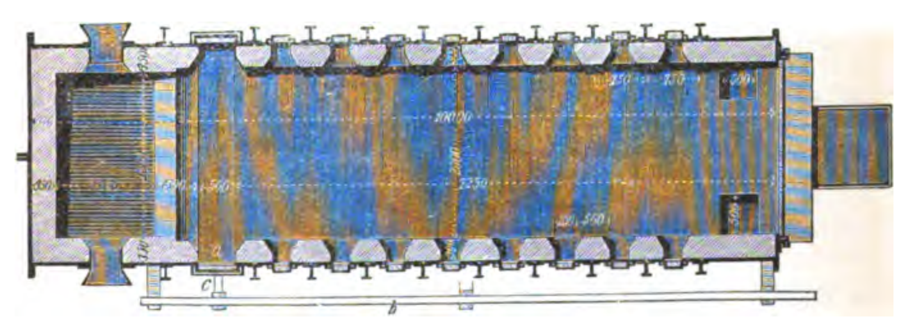


Abb. 432.

Steigung des Herdes entspricht ungefähr dem Verhältnisse 1 : 9. Die Einsatzöffnung nimmt die ganze Breite des Herdes ein und ist durch eine Tür geschlossen, bestehend aus einem mit feuerfesten Ziegeln ausgesetzten Rahmen, welcher zwischen senkrechten Führungen emporgezogen wird. Hinter der Tür befinden sich in der Sohle des Ofenherdes zwei Fuchsöffnungen, durch welche die Gase abwärts nach dem Essenkanale entweichen. An beiden Langseiten des Ofens sind in Abständen von je 75 cm zahlreiche kleine Türöffnungen angebracht, zum Einführen eiserner Stangen dienend, mit deren Hilfe das Rollen der Blöcke bewirkt wird. Sie sind durch Schiebetüren geschlossen, welche, wie Abb. 431 erkennen läßt, an Ketten mit Gegengewichten hängen.

[1]) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ingenieure 1880, Tafel XIV.

Durch die neben der Feuerbrücke befindliche Tür *a* erfolgt das Ausziehen der Blöcke. Zur Erleichterung dieser Arbeit ist vor dem Ofen in einiger Höhe über den Türen die Welle *b* gelagert, welcher von dem Kolben des rechts neben dem Ofen stehenden Wasserdruckzylinders eine Drehung erteilt werden kann. Vor der Ausziehöffnung ist an der Welle ein abwärts gerichteter Hebel *c* befestigt, welcher bis zur Türöffnung hinabreicht und an welchen ein eiserner Haken mit Hilfe einer kurzen Kette angeschlossen werden kann, deren letztes Glied über das Ende des Hebels geschoben wird. Der in den Ofen geschobene Haken erfaßt den Block; dann wird die Welle in Bewegung gesetzt, der Hebel schlägt nach außen und zieht den Block auf den vorgefahrenen Karren [1]).

Rollöfen, welche zum Einsetzen kalter Blöcke bestimmt sind, gibt man bis 12 m Herdlänge. Die Gase verlassen in diesen Fällen den Ofen in so abgekühltem Zustande, daß ihre Benutzung zur Kesselfeuerung nicht mehr tunlich ist. Setzt man dagegen, wie es häufig geschieht, die Blöcke noch heiß, unmittelbar aus der Gießgrube kommend, ein, so beschränkt man die Herdlänge auf 7 bis 10 m und legt in diesem Falle, da die Gase weniger abgekühlt werden, bisweilen Dampfkessel hinter die Öfen.

Die Leistungsfähigkeit der Rollöfen ist sehr bedeutend. Ein Rollofen von den in den Abbildungen angegebenen, verhältnismäßig kleinen Abmessungen (7,5 m Herdlänge) faßt etwa 30 Blöcke von je 600 kg Gewicht und jeder Block verweilt, wenn er kalt eingesetzt wurde, 3 Stunden im Ofen, so daß in 24 Stunden ungefähr 150 t Blöcke gewärmt werden können; sind die eingesetzten Blöcke noch warm und ihr Gewicht größer (1800 bis 2000 kg), so kann das Gewicht der in 24 Stunden gewärmten Blöcke auf das Drei- bis Vierfache jenes Betrages steigen.

Das Einsetzen der Blöcke und Zwischenerzeugnisse in die Wärmöfen geschieht, wie bei den Schweißöfen, entweder nur durch Handarbeit, indem man einen mit den Arbeitsstücken beladenen Wagen vor die Türschwelle fährt und nun mit Haken und Stangen die Stücke einschiebt, oder, zumal beim Einsetzen schwerer Gegenstände, mit Hilfe einfacher mechanischer Vorrichtungen. Besonders häufig sind letztere bei den Rollöfen in Anwendung, deren Einsatztür oft ziemlich hoch über der Hüttensohle liegt. Neben dem in Abb. 431 dargestellten Rollofen befindet sich an der rechten Seite ein schon erwähnter, im Boden eingelassener Wasserdruckzylinder, dessen Kolben eine zur Aufnahme der empor zu befördernden Blöcke oder auch des mit den Blöcken beladenen Wagens bestimmte Plattform trägt. Nicht selten vervollständigt man diese Einrichtung noch in der Weise, daß die oben angelangten Blöcke auch ohne weiteres in den Ofen befördert werden. Als Beispiel kann die in Abb. 433 dargestellte Anordnung dienen[2]). Die Plattform des Wasserdruckzylinders trägt eine Kippplatte, auf welche

---

[1]) Abbildung eines Rollofens mit Gasheizung und Vorwärmung der Luft in Wärmespeichern: „Stahl und Eisen" 1898, Seite 990.

[2]) „Stahl und Eisen" 1898, Seite 992.

der mit den Blöcken beladene Wagen gefahren wird. Durch eine Kette ist die Kippplatte, wie die Abbildung zeigt, an den Fußboden angeschlossen, so daß sie bei entsprechendem Höhenstande des Kolbens in schräge Lage kommt und nun die auf dem Wagen befindlichen Blöcke in den Ofen rollen läßt.

Die Vorrichtung, welche das Ausziehen der Blöcke aus dem Rollofen Abb. 431 und 432 zu erleichtern bestimmt ist, hat schon oben Erläuterung gefunden. Auch der in Abb. 423 und 424 (S. 423 III) dargestellte Paketzieher kann dem nämlichen Zwecke

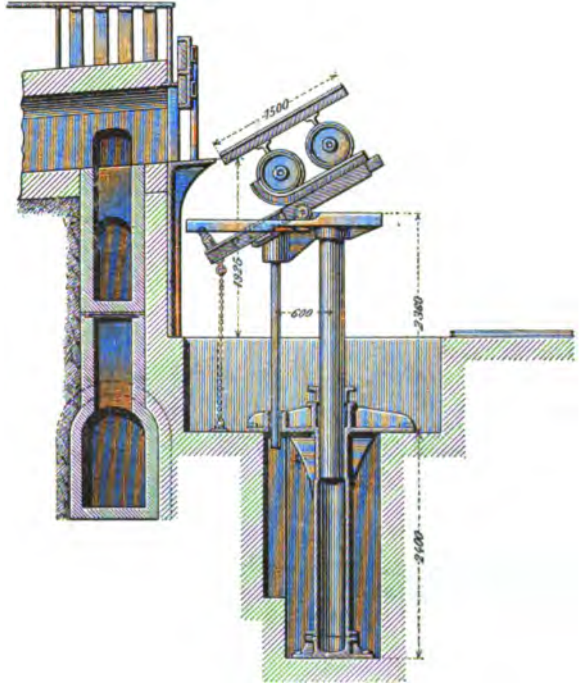


Abb. 433.

dienen. Je schwerer aber die Blöcke sind, desto größer ist bei dem Herausziehen die Reibung auf der Herdsohle. Deshalb hat man auf manchen Werken auch solche Vorrichtungen eingeführt, welche zur Vermeidung jener Reibung den Block erst etwas anheben, bevor sie ihn herausbefördern.

Als ein Beispiel hierfür kann die in Abb. 434 dargestellte, auf einem nordamerikanischen Eisenwerke eingeführte Einrichtung dienen[1]). Auf dem sowohl senkrecht beweglichen als im Kreise drehbaren Ausleger eines Wasserdruckkranes ist eine Laufkatze angeordnet, welche den Bügel mit der Greifzange trägt. Mit Hilfe des in der Abbildung erkennbaren Handrades, dessen Nabe mit

[1]) Nach Iron Age in „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 307.

Schraubenmuttergewinde versehen ist, werden die einander gegenüberstehenden Spitzen der Greifzange in solcher Entfernung voneinander eingestellt, daß der Block bequem dazwischen paßt, wenn der Handhebel *a* in der gezeichneten Stellung sich befindet. Dreht man nun den Hebel etwas abwärts, so werden die Spitzen einander genähert, und der Block wird erfaßt. Jetzt wird der Ausleger des Kranes und mit ihm die ganze Vorrichtung etwas gehoben; das Gewicht des Blockes wirkt alsdann auf den Hebel *a* in der Weise, daß die Spitzen noch fester in das Arbeitsstück hineingedrückt werden und man den Block mit Sicherheit herausholen kann. Wird er mit Hilfe des Kranes auf den bereit gestellten Wagen niedergelassen, so werden die Greifzange und der Hebel *a* dadurch entlastet, und eine geringe Aufwärtsbewegung des letzteren genügt, den Block frei zu machen. In derselben Weise erfolgt das Einbringen der Blöcke in den Ofen.

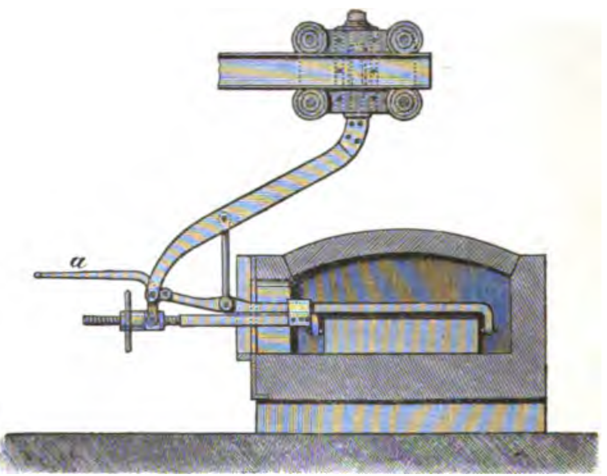


Abb. 434.

Statt dieser verhältnismäßig einfachen Vorrichtung benutzt man auch elektrisch angetriebene Maschinen zum Einsetzen und Ausziehen der Blöcke. Eine Greifzange, ähnlich wie bei der Vorrichtung Abb. 434, erfaßt den Block; ihre Bewegung erhält sie entweder von einem Deckenlaufkran aus oder von einem Wagen, welcher längs der Ofenreihe sich bewegt. In dem letzteren Falle ist die Anordnung des Ganzen der Anordnung der auf S. 357 III beschriebenen und in Abb. 405 dargestellten Beschickungsvorrichtung für Martinöfen ähnlich, nur mit dem Unterschiede, daß der Wagen statt der Mulde für das einzusetzende Eisen die Greifzange für den Block trägt[1]).

Daß man bei Wärmöfen für sehr schwere Gegenstände den Herd auf Räder stellt, um ihn außerhalb beladen und entladen zu können, wurde schon oben erwähnt.

[1]) Abbildungen verschiedener Vorrichtungen zu dem nämlichen Zwecke „Stahl und Eisen" 1901, Seite 125; 1902, Seite 149.

Der Brennstoffverbrauch in den Wärmöfen hängt von der Einrichtung des Ofens, der Größe der Blöcke, hauptsächlich aber davon ab, ob die Blöcke kalt eingesetzt werden, oder ob man sie noch warm, wenn möglich rotglühend, dem Ofen zuführen kann, bald nachdem sie die Gußform verlassen haben. Letzteres Verfahren ist offenbar vorteilhafter, aber es ist nur anwendbar, wenn die Erzeugung der Blöcke und ihre Verarbeitung regelmäßig aufeinander folgen können.

Für 1 t kalt eingesetzter Blöcke pflegt man in Wärmöfen mit Siemensfeuerung 160 bis 200 kg Steinkohlen zu gebrauchen, in Rollöfen etwa ebensoviel. Werden die Blöcke heiß eingesetzt, so verringert sich der erforderliche Brennstoffverbrauch in beiden Ofengattungen um so mehr, je mehr Wärme die Blöcke bereits mitbrachten, und kann auf 40 kg oder unter Umständen noch weniger sich ermäßigen.

Der stattfindende Abbrand bei jedem Wärmen und Auswalzen beträgt gewöhnlich 2 bis 4 v. H. des Einsatzgewichts. Er ist niedriger als in Schweißöfen, da keine Schlacke ausgepreßt wird und die Blöcke der Flamme weniger Oberfläche darbieten als die aus zahlreichen Eisenstücken bestehenden Pakete des Schweißeisens.

c) Die Ausgleichgruben und Tieföfen.

Bei Besprechung der Wärmöfen wurde der Tatsache gedacht, daß der Brennstoffverbrauch zum Wärmen der Blöcke sich ermäßigen läßt, wenn man sie bald nach dem Gießen noch heiß in den Ofen einsetzt. Der Umstand nun, daß die Flußeisenblöcke, nachdem sie gegossen wurden, ohnehin allmählich sämtliche Temperaturen von der Schmelzhitze bis zur völligen Abkühlung durchlaufen, könnte den Gedanken nahe legen, sie zur Ersparung einer besonderen Erhitzung sofort der Verarbeitung zu unterziehen, sobald sie nach dem Erstarren auf die dafür geeignete Temperatur abgekühlt sind. Dennoch ist ohne weiteres ein solches Verfahren nicht ausführbar. Die Abkühlung der Blöcke geht nicht gleichmäßig innerhalb des ganzen Querschnitts vor sich, sondern beginnt rasch an der Außenfläche und setzt sich dann allmählich nach innen fort. Die äußere Kruste ist bereits hart und spröde, während der Block im Innern noch weich, mitunter noch flüssig ist. Wollte man den Block in diesem Zustande schmieden oder walzen, so würde das weiche Metall aus dem Innern herausgedrückt werden und die Kruste Risse bekommen.

Ist jedoch der Betrieb umfangreich genug, daß die Einsätze rasch aufeinander folgen, die Blöcke also kurze Zeit, nachdem sie gegossen wurden, zur Verarbeitung gelangen, so läßt sich immerhin ohne Anwendung von Brennstoff eine gleichmäßige Durchwärmung der Blöcke erzielen, wenn man sie in engen, aus schlechten Wärmeleitern gebildeten Räumen, die immer wieder für die Blöcke des nächsten Einsatzes benutzt werden, und deren Wände deshalb ununterbrochen warm bleiben, einige Zeit sich selbst überläßt.

Dieses Verfahren, von John Gjers im Jahre 1882 auf den

Darlington Steel and Iron Works ausgebildet, ist seitdem auf zahlreichen größeren Eisenwerken eingeführt worden.

Gjers benutzt für den genannten Zweck grubenförmige, mit feuerfesten Steinen eingefaßte Räume, Ausgleichgruben genannt[1]), deren jede in der Regel nur einen einzigen Block aufnimmt und daher im Durchmesser und in der Höhe nur wenig größer ist als dieser. Abb. 435 und 435 zeigen die Einrichtung einer Gruppe von acht solchen Gruben. Sie sind durch Mauerwerk

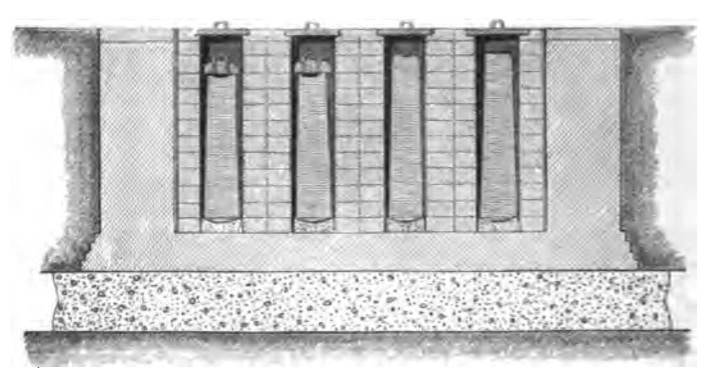


Abb. 435.

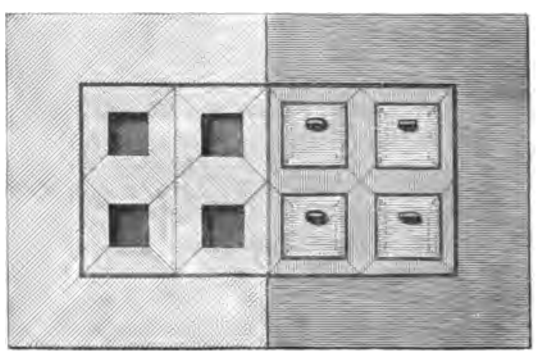


Abb. 436.

von feuerfesten Ziegeln eingefaßt und oben durch je einen Deckel geschlossen, welcher aus einem eisernen Rahmen mit eingesetzten feuerfesten Steinen besteht. Der Deckel wird beim Öffnen entweder abgehoben, wozu ein Kran oder ein Hebelwerk dienen kann, oder er wird mit Hilfe eines Wasserdruckzylinders wagerecht verschoben[2]). Die Sohle der Gruben wird aus Kokslösche gebildet, welche man so hoch aufschüttet, als der Höhe des einzusetzenden Blockes entspricht. Hat sich Schlacke am Boden

[1]) Englisch: Soaking-pits.

[2]) Beispiele letzterer Anordnung: „Stahl und Eisen“ 1900, Seite 730, 734; 1901, Seite 1176.

gebildet, so muß diese entfernt werden, damit sie nicht an den Block sich festsetze. Der Durchmesser der Gruben ist 100 bis 200 mm größer als der des Blockes an seinem stärksten Ende. Mitunter legte man früher auf den Block noch einen besonderen Deckel, aus einem Schamottsteine bestehend (Abb. 435 links); das Verfahren hat sich indes als entbehrlich erwiesen.

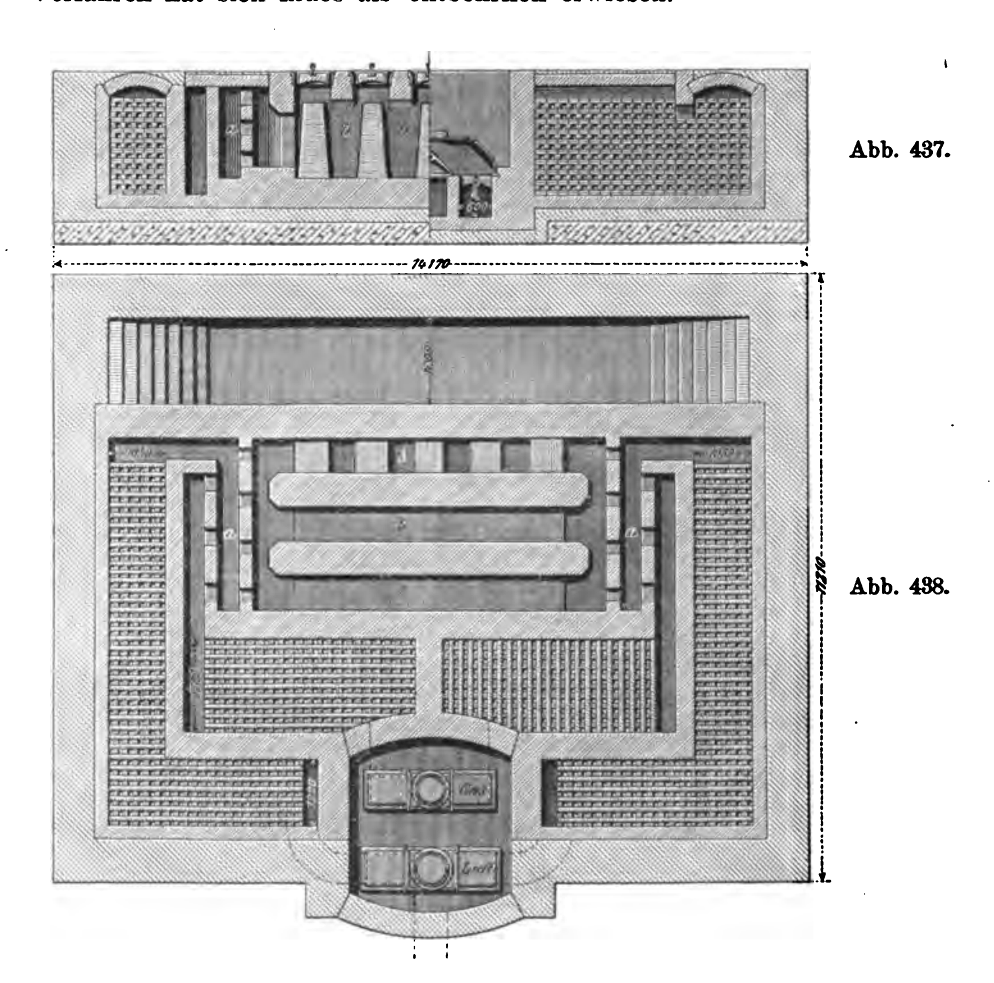


Abb. 437.

Abb. 438.

Eine frisch zugestellte Grube wird zunächst durch Einsetzen rotwarmer Blöcke allmählich ausgetrocknet, während der Deckel abgehoben ist; mehrere Tage sind hierfür erforderlich. Dann werden heißere Blöcke eingesetzt, der Deckel wird aufgelegt und das Verfahren so lange fortgesetzt, bis die Wände der Grube rotglühend geworden sind. Nun erst beginnt der regelmäßige Betrieb, bei welchem die eingesetzten Blöcke eines Nachwärmens in Öfen nicht mehr bedürfen. Die Zeitdauer des Verweilens der Blöcke in

der Grube beträgt 8 bis 20 Minuten, mitunter auch noch etwas darüber. Die Größe der Blöcke, ihre chemische Zusammensetzung und der Umfang des Betriebes sind hierbei maßgebend. Große Blöcke verweilen längere Zeit als kleinere; kohlenstoffreichere, welche im Innern lange Zeit flüssig bleiben, längere Zeit als kohlenstoffarme. Zur Bedienung von 16 bis 24 Gruben sind zwei bis vier Arbeiter erforderlich. Bei eintretenden Betriebsunterbrechungen deckt man die Gruben mit einer dicken Aschenschicht ab und kann sie auf diese Weise mehrere Tage warm erhalten.

Der Abbrand in den Gruben ist geringer als in Öfen und beträgt bei großen Blöcken weniger als 1 v. H. des Einsatzgewichts. Dieser Umstand ist nicht minder von Vorteil als die Ersparung von Brennstoff.

In Fällen, wo der Betrieb nicht umfangreich genug ist, um eine regelmäßige Entnahme der Blöcke zu ermöglichen, ohne daß Abkühlung eintritt, macht man die Gruben heizbar. Sie werden dadurch zu wirklichen Öfen[1]), welche man ihrer Anordnung gemäß Tieföfen genannt hat. Die Heizung erfolgt durch Verbrennungsgase, welche durch die ganze Reihe der untereinander in Verbindung gesetzten Kammern hindurchziehen. In der Regel benutzt man Gasfeuerung, und zwar hat die Siemensfeuerung sich gut für diesen Zweck bewährt. In Abb. 437 und 438 a. v. S. ist ein solcher Tiefofen mit Siemensfeuerung abgebildet[2]). Die Anordnung der Gas- und Luftklappen sowie der liegenden Wärmespeicher ist im Grundrisse (Abb. 438) erkennbar. *aa* sind die Verbrennungskammern, in welchen Gas und Luft zusammentreten, um von hier durch Schlitze in die Heizräume *bbb* zu gelangen und am entgegengesetzten Ende nach der Esse zu entweichen. In Abb. 437 ist die Stellung der Blöcke erkennbar. Über jedem Blocke befindet sich, wie in den Ausgleichgruben, die zum Einsetzen dienende, durch einen Deckel verschließbare Öffnung. Man rechnet bei diesen Tieföfen auf einen Kohlenverbrauch von 200 bis 250 kg auf 1 t Blöcke und einen Abbrand von 1 bis 2 v. H. Sie haben den Vorteil der bequemen Bedienung, zumal dann, wenn sie so nahe bei der Gießgrube angeordnet werden können, daß derselbe Kran, welcher die Blöcke aus der Gießgrube hebt, sie sogleich in den Tiefofen einsetzen kann.

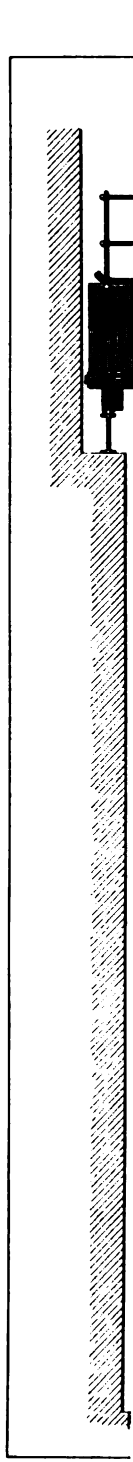
d) Die Vorrichtungen zur Beförderung der Arbeitsstücke.

Der Vorrichtungen zum Einsetzen der Pakete und Blöcke in die Öfen und zum Herausziehen ist schon bei Besprechung der Öfen gedacht worden. Die eigentliche Beförderung aber, z. B. von der Gießhalle nach den Öfen, von diesen nach den Walzwerken, erfolgt in verschiedener Weise. Während die Pakete und halbfertigen Schmiede- oder Walzstücke aus Schweißeisen oft nur, wie schon früher erwähnt wurde, auf dem Erdboden mit Hilfe einer Zange geschleift oder auf einfachen zweirädrigen Karren gefahren

---

[1]) Erläuterung des Begriffs „Ofen“: Seite 140 I.

[2]) „Stahl und Eisen“ 1898, Seite 985. Sonstige Abbildungen von Tieföfen: „Stahl und Eisen“ 1885, Seite 530; 1890, Seite 18; 1891, Tafel 19; 1899, Seite 74.



Verlag von Arthur

werden, sind für die Bewegung der gewöhnlich schwereren Flußeisenblöcke mechanische Vorrichtungen erforderlich. Müssen die Blöcke gehoben und dann weiter befördert werden, so bedient man sich gewöhnlich eines Krans mit daran hängender, zum Ergreifen der Blöcke dienender Zange. Abb. 439 zeigt eine solche Vorrichtung[1]). Ein elektrisch angetriebener Laufkran dient für die Vermittelung der Bewegungen. Wenn der Flaschenzugkloben, an welchem die Zange hängt, gehoben wird, bewirkt der auf die Schenkel ausgeübte Zug, daß die Zange sich schließt und der Block durch die in das Zangenmaul eingesetzten Stahlspitzen erfaßt wird; die Zange öffnet sich selbsttätig, sobald der Block sich auf eine feste Unterlage aufsetzt und dadurch die Zugwirkung aufhört. Eine an dem linken Zangenschenkel befestigte Klinke mit Nasen an der unteren Seite, welche gegen einen am rechten Schenkel angebrachten Stift schlagen, dient zur Verhinderung, daß die Zange sich beim Anheben vorzeitig schließe, bevor sie den Block erfaßt hat; ein vom Krane aus bewegtes Drahtseil löst die Klinke, sobald die Zange in Tätigkeit treten soll.



Abb. 439.

Dieselben Krane, welche die Blöcke befördern, können auch zum Abheben und Fortbewegen der Gußformen dienen. Da jedoch die Blöcke in den Gußformen nicht selten sich festklemmen, versieht man den Kran wohl mit einer Vorrichtung, welche beim Anheben der Gußform zunächst den Block herausdrückt und solcherart menschliche Arbeit erspart. Krane dieser Art sind zuerst auf amerikanischen Werken zur Anwendung gelangt und haben in den letzten Jahren auch in Europa mehrfach Eingang gefunden. Die Abb. 440 und 441 können als Beispiel eines solchen Krans dienen. Der Kran ist mit sechs (in den Abbildungen nur teilweise sichtbaren) Elektromotoren versehen, von denen einer für die Längsbewegung, der zweite für die Bewegung der Katze, der dritte für das Heben der Gußformen und Blöcke, der vierte für das Ausdrücken der Blöcke, der fünfte für das Öffnen und Schließen der Zange und der sechste für das Drehen der Zange mit dem erfaßten Blocke bestimmt ist. Die Zange wird von der senkrechten Hohlspindel *a* getragen, welche an einem im Krane gelagerten Querhaupte drehbar befestigt ist und mit diesem gehoben und gesenkt werden kann. Ihr Gewicht wird durch das Gegengewicht *e* ausgeglichen; ihre Drehung um ihre Achse, falls solche erforderlich ist, erhält sie durch Vermittelung von Getrieben. Zum Öffnen und Schließen

[1]) Von der Duisburger Maschinenbau-Aktiengesellschaft ausgeführt.

der Zange dienen zwei von dem Hebelwerke *b* ausgehende Zugstangen, deren untere Enden den auf der Spindel *a* sitzenden Ringschieber *c* erfassen, welcher durch Vermittelung von Hebeln die Bewegung auf die Zangenschenkel überträgt. In Abb. 440 ist unschwer erkennbar, daß beim Emporziehen der Stangen die Zange geschlossen, beim Senken geöffnet wird. Zum Ausdrücken des Blocks aus der Gußform dient der innerhalb der Hohlspindel *a* geführte Stempel *d*, dessen oberes aus der Spindel herausragendes Ende mit Schraubengewinde versehen ist und durch Drehung einer Schraubenmutter senkrecht bewegt werden kann. Die Gußform wird, wie die Abbildungen erkennen lassen, durch Bügel des Zangenmauls erfaßt und ist zu diesem Zwecke mit angegossenen Ohren versehen; zum Festhalten des Blocks dienen die über den Bügeln befindlichen Stahlspitzen.

Für die Fortbewegung (ohne Anhub) von Blöcken, Halb- und Fertigerzeugnissen in wagerechter oder schwach geneigter Richtung (z. B. von einem Walzwerke zum andern, von dem Walzwerke zur Schere, von diesem zum Warmlager) benutzt man vielfach Rollbahnen, wie auf S. 144 III beschrieben wurden. Statt ihrer lassen sich Kettenzüge benutzen, welche sich vor den Rollbahnen durch größere Einfachheit auszeichnen, sofern es sich nur um die Beförderung kürzerer Gegenstände (Blöcke, Abschnitte) handelt. In ihrer allgemeinen Anordnung sind sie der auf S. 176 II abgebildeten Gießmaschine ähnlich. Zwei parallele und gleich lange Ketten ohne Ende sind durch quer hinübergehende Bleche miteinander verbunden, so daß ein Band ohne Ende entsteht, auf welches die zu befördernden Gegenstände gelegt werden. Sie sind über Getriebe geführt, deren eins den Antrieb erhält und auf das Band fortpflanzt. Rollen, welche unter den Ketten in entsprechenden Abständen angebracht sind, dienen zu deren Unterstützung. Die Beförderung auf den Kettenzügen kann in wagerechter oder geneigter Richtung, auch, wenn erforderlich, nach einer gebrochenen Linie stattfinden. Ist ein Gleiten der Gegenstände hierbei zu befürchten, so bringt man auf den Blechen querlaufende Winkel an, welche dieses verhindern (Abb. 442, 443). Solche Kettenzüge können ebensowohl dazu dienen, die Arbeitsstücke von einer der für die Formgebung bestimmten Vorrichtung zur andern, z. B. von dem Rollentisch eines Walzwerks nach dem folgenden, als auch nach der Verladestelle zu befördern. In dem erstern Falle ordnet man die Räder vertieft an, so daß nur die obere Hälfte des Bandes sich etwas über dem Erdboden befindet; in dem zweiten Falle können die Gegenstände, wie bei der Gießmaschine auf S. 176 II, am Ende des Kettenzuges sofort in den darunter gebrachten Wagen abgeworfen werden[1].

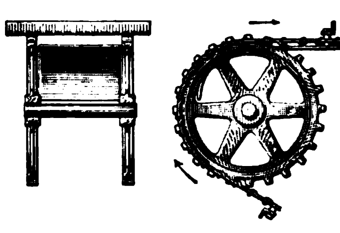


Abb. 442. Abb. 443.

[1]) Verschiedene Beispiele ähnlicher Vorrichtungen findet der Leser in der unter Literatur aufgeführten Abhandlung von Langheinrich: Amerikanische Eisenhütten und deren Hilfsmittel.

4. Beispiele der Verarbeitung des Schweifs- und Flufseisens.

a) Darstellung des Grobeisens.

Man versteht im allgemeinen unter Grobeisen die stärkeren Eisensorten mit quadratischem, rechteckigem, kreisrundem, seltener sechs- oder achteckigem Querschnitte, welche aus Paketen oder Blöcken in einer Hitze hergestellt werden. Eine bestimmte Grenze in den Abmessungen zwischen Grobeisen und Feineisen gibt es nicht; maßgebend ist in der Regel der Umstand, daß Grobeisen in einem einmaligen Walzverfahren ohne Unterbrechung erzeugt wird, während bei der Feineisendarstellung zunächst ein Zwischenerzeugnis erfolgt, welches einer abermaligen Erhitzung bedarf, ehe es abermals gestreckt werden kann. Bei Verarbeitung des Flußeisens ist die Grenze zwischen Grob- und Feineisen noch weniger deutlich als bei Verarbeitung des Schweißeisens. Bisweilen gießt man zur Ersparung an Walzarbeit Blöcke von so kleinen Abmessungen, daß sie in einer Hitze auch zu dünnen Querschnitten ausgestreckt werden können; oder man walzt größere Blöcke im Blockwalzwerke vor, teilt sie und walzt die erhaltenen Stücke ebenfalls zu dünnen Querschnitten aus, ohne sie nochmals erhitzen zu müssen.

Zu den Paketen des Schweißeisens benutzt man teils Rohschienen, teils Alteisen und Abfälle. Das Gewicht eines Paketes muß, wie bei Darstellung aller anderen Eisensorten, gleich sein dem Gewichte des fertigen Stabes nebst dem Abbrande und dem Gewichte der abfallenden Enden. Die zu paketierenden Stäbe werden in Stücke von der entsprechenden Länge zerschnitten (gewöhnlich 450 bis 600 mm) und dann so zusammengelegt, daß die Fugen gegeneinander versetzt sind und die Zwischenräume möglichst klein ausfallen. Die Form der einzelnen Stücke muß für ihre Anordnung maßgebend sein, und eine gewisse Übung und Umsicht ist für eine gute Paketierung unerläßlich.

Pakete, die wegen der ungünstigen Form der paketierten Stücke zum Auseinanderfallen geneigt sind, bindet man mit Bindedraht zusammen.

Das Schweißen des Pakets pflegt in Spitzbogenkalibern (S. 156 III) vorgenommen zu werden. Man läßt es durch mehrere derartige Kaliber hindurchgehen, bevor es in die Fertigkaliber gelangt.

Rundeisen und Quadrateisen wird in Spitzbogenkalibern fortschreitend vorgestreckt, worauf es seine Vollendung in drei Fertigkalibern erhält. Durch das letzte Fertigkaliber wird es drei- bis fünfmal unter Drehung um 90 Grad hindurchgeführt (Seite 157 III). Flacheisen wird, nachdem das Paket in Spitzbogenkalibern vorgewalzt worden ist, in geschlossenen Kalibern der Vollendwalzen fertig gestreckt, dabei ausgebreitet und nach jedem Durchgange um 180 Grad gedreht. Die Einrichtung der Flacheisenkaliber ist im wesentlichen die nämliche wie bei den linksseitig befindlichen Walzen des auf Seite 124 III abgebildeten Rohschienenwalzwerkes.

Bei der Verarbeitung des Flußeisens fällt das Paketieren weg, und die gewärmten Blöcke werden sofort ausgewalzt. Steht ein Blockwalzwerk zur Verfügung, so werden die hier verdichteten Blöcke durchgeteilt und nun erst fertig ausgestreckt.

b) Darstellung des Feineisens und Walzdrahtes.

Man stellt diese Eisensorten aus Knüppeln dar, d. h. Stäben von kreisrundem oder quadratischem Querschnitte, welche durch Auswalzen eines Blockes oder Paketes und Durchteilen des entstehenden längeren Stabes gewonnen waren. Sie werden dann gewöhnlich aufs neue erhitzt, bisweilen aber auch in der nämlichen Hitze fertig gewalzt. Feineisen hat die nämlichen Querschnittsformen wie das Grobeisen, nur entsprechend geringere Abmessungen; Walzdraht nennt man das schwächste durch Walzen hergestellte Rundeisen mit einem Durchmesser von etwa 5 mm, mitunter noch weniger, welches, nachdem es das letzte Kaliber verlassen hat, auf einem Haspel zu einem Ringe aufgewickelt wird. Man benutzt ihn teils unmittelbar für die mannigfachsten Zwecke, teils auch zur Herstellung des gezogenen, noch feineren Drahtes, einer Arbeit, deren Besprechung nicht mehr in das Gebiet der Eisenhüttenkunde fällt, sondern der mechanischen Technologie angehört.

Da die Eisenstäbe um so rascher abkühlen und demnach das Auswalzen um so stärker beschleunigt werden muß, je dünner ihr Querschnitt ist, sind für die Feineisen- und Drahtdarstellung rasch laufende Walzwerke (häufig nach Art des auf Seite 159 III abgebildeten gebaut) erforderlich. Ziemlich abweichend aber ist die Einrichtung dieser Walzwerke im einzelnen, insbesondere der Drahtwalzwerke[1]). In der Regel bestehen sie aus einer Vorstrecke mit einem bis drei Walzgerüsten und einer Fertigstrecke aus acht bis neun Walzgerüsten. Wenn der Stab zur Fertigstrecke gelangt, hat er bereits eine bedeutende Länge erreicht. Das aus dem Kaliber herauskommende vordere Ende wird also mit einer Zange erfaßt und sofort in dem folgenden Kaliber zurückgewalzt, bevor noch der Stab das vorausgehende Kaliber verlassen hat, so daß er zuletzt schlangenartig eine größere Zahl von Kalibern durcheilt. Zur Erleichterung dieser Arbeit sind die aufeinander folgenden Kaliber gewöhnlich in verschiedenen Walzgerüsten angebracht, und hieraus ergibt sich dann die Notwendigkeit, die Fertigstrecke aus jener großen Zahl von Walzgerüsten bestehen zu lassen. Durch Anbringung von Führungen erleichtert man nicht selten die Überführung des Stabes in das nächste Kaliber. Bisweilen hat man auch, um das häufige Umbiegen des Stabes entbehrlich zu machen, statt der einen Fertigstrecke mehrere parallele, hintereinander aufgestellte Walzstrecken angeordnet, so daß der Draht von einer zur andern hinübergeht. Einzelne solcher Anlagen enthalten 12 Walzgerüste mit je zwei wagerechten Walzen hintereinander[2]). Da die Geschwindigkeit des aus dem Kaliber herauskommenden Stabes bei jedem neuen Kaliber größer wird, müssen bei solchen Walzwerken die Walzen verschiedene Geschwindigkeiten erhalten; die Bewegungsübertragung erfolgt zu diesem Zwecke durch Kegelräder mit verschiedenem Umsetzungsverhältnisse. Um das Wenden

---

[1]) Ausführliche Mitteilungen hierüber findet der Leser in der Abhandlung Baackes': „Stahl und Eisen" 1900, Seite 65.

[2]) J. v. Ehrenwerth, Das Eisenhüttenwesen Schwedens, Seite 51; daraus in „Stahl und Eisen" 1889. Seite 179.

des Drahts um 90 Grad vor dem Eintritte in ein neues Kaliber entbehrlich zu machen, hat man bisweilen auch abwechselnd Walzen mit wagerechten und senkrechten Achsen hintereinander eingerichtet, doch sind Walzwerke dieser Art ziemlich vereinzelt geblieben.

Als Kaliber beim Drahtwalzen dienen zunächst abwechselnd Oval- und Quadratkaliber, schließlich ein Rundkaliber. Gut eingerichtete Drahtwalzwerke können täglich 60 bis 70 t, mitunter noch etwas mehr Walzdraht erzeugen.

c) Darstellung des Bauwerkeisens.

Man versteht hierunter alles solches Walzeisen, welches zur Herstellung eiserner Brücken und anderer größerer Bauwerke aus Eisen Verwendung findet[1]). Außer den Eisensorten mit einfachen Querschnitten, deren Herstellung schon unter a) und b) besprochen wurde, gehören demnach hierher Winkeleisen, Trägereisen von verschiedenen Querschnittsformen, auch Bleche (für genietete Träger und andere Bauteile), deren Anfertigung jedoch unten besondere Erläuterung finden wird, und Nieteisen (für Niete). Damit solches Eisen widerstandsfähig gegen die oft heftigen Erschütterungen sei, denen die Bauwerke ausgesetzt sind, muß es ein hohes Maß von Zähigkeit bei angemessener Festigkeit besitzen. Vom Bauwerkschweißeisen verlangt man in der Regel eine Zugfestigkeit von 33 bis 36 kg in der Walzrichtung, vom Bauwerkflußeisen eine Zugfestigkeit von 37 bis 45 kg[2]).

Bis gegen Ende der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts bildete Schweißeisen die vorzugsweise benutzte Eisengattung für Bauwerke; Flußeisen gelangte nur vereinzelt zur Anwendung. Manche Mißerfolge bei Benutzung des letzteren hatten Mißtrauen erweckt. Man vervollkommnete jedoch mehr und mehr die Verfahren für die Herstellung und Verarbeitung des Flußeisens, und ganz besonders erleichterte die Erfindung der basischen Verfahren (des Thomas- und basischen Martinverfahrens) die Aufgabe, ein Erzeugnis zu gewinnen, welches, durch hohe Zähigkeit ausgezeichnet, sich als weniger empfindlich gegen zufällige Beeinflussungen seiner Eigenschaften durch äußere Umstände erwies und daher größere Sicherheit gegen unvorhergesehene Unfälle bot, als das auf saurem Herde dargestellte Flußeisen. Seit jener Zeit ist von Jahr zu Jahr das Schweißeisen auf diesem Gebiete in immer zunehmendem Umfange durch Flußeisen ersetzt worden, und die Verwendung des ersteren ist in der jetzigen Zeit bereits eher als Ausnahme denn als Regel zu betrachten.

---

[1]) Vorschriften für Lieferungen von Eisen und Stahl, aufgestellt vom Verein deutscher Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1893, Seite 20.

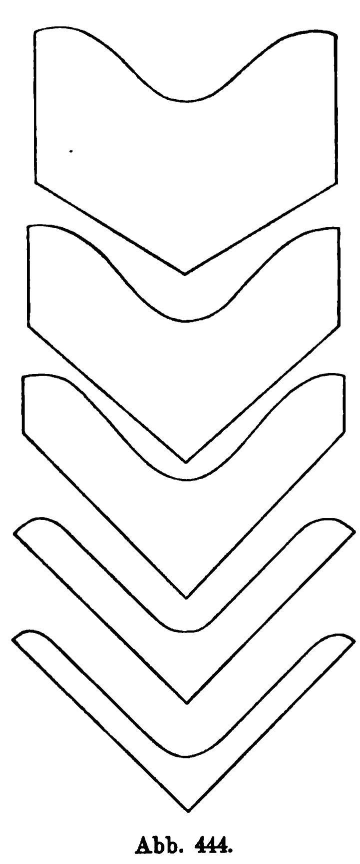
[2]) Hinsichtlich der Ansprüche und Prüfungsverfahren im einzelnen möge auf die genannte Schrift verwiesen werden. Auch „Stahl und Eisen“ 1891, Seite 707; 1892, Seite 593; 1893, Seite 275, enthält beachtenswerte Mitteilungen über diesen Gegenstand.

Das für Bauwerke benutzte Flußeisen enthält in der Regel

Kohlenstoff	0,08 bis 0,15 v. H.
Mangan	0,40 „ 0,60 „
Silicium	höchstens 0,02 „
Phosphor	„ 0,06 „

Doch müssen in jedem einzelnen Falle der besondere Zweck, dem das Eisen dienen soll, und die Ansprüche, die man an sein Verhalten stellt, berücksichtigt werden.

Schweißeisen wird, wie gewöhnlich, aus Paketen gewalzt, Flußeisen aus Blöcken, meistens von quadratischem Querschnitt.


Abb. 444.

Die in Deutschland übliche Anordnung der Kaliber für Winkeleisen ist durch Abb. 444 veranschaulicht. Den Schweißeisenpaketen, welche für diesen Zweck bestimmt sind, gibt man gern oben und unten eine Deckplatte aus doppelt geschweißtem Eisen (z. B. Blechabfällen); die Oberfläche wird dadurch sauberer und das Eisen geeigneter, die Herstellung von Nietlöchern, ohne Beschädigung zu erleiden, zu ertragen. Man walzt in einer oder auch in zwei Hitzen aus.

Für Darstellung von Doppelt-T-Eisen (I) aus geschweißtem Eisen gibt man den Paketen schon eine Andeutung des späteren Querschnitts. Die Ecken der Pakete, welche beim Walzen die stärkste Beanspruchung zu erleiden haben, werden aus doppelt geschweißtem Eisen hergestellt, die übrigen Teile aus Rohschienen und Abfällen. In den Kalibern, sowohl bei Verarbeitung von Schweißeisen als von Flußeisen, liegt der mittlere Steg wagerecht und die Flügel stehen demnach senkrecht (H). Je größer die Breite der letzteren ist, desto größer ist die Schwierigkeit der Herstellung. Kleinere Sorten dieses Eisens walzt man in Dreiwalzwerken, für die schwereren bedient man sich eines Kehrwalzwerkes.

d) Darstellung der Eisenbahnschienen.

Bis gegen die Mitte der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts benutzte man allgemein Schweißeisen zur Herstellung der Eisenbahnschienen. Ziemlich regelmäßig bestand der Kopf der Schiene aus Puddelstahl oder Feinkorneisen, der Fuß aus Sehneeisen. Durch geeignetes Paketieren, Schweißen und Auswalzen

wurden die verschiedenen Eisensorten bei der Herstellung der Schienen miteinander verbunden. Später vertauschte man den Puddelstahl bisweilen mit Bessemerstahl, und solche Schienen mit sehnigem Fuße und Stahlkopf wurden noch in der Mitte der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts ziemlich häufig gefertigt.

Eine aus Schweißeisen gefertigte Schiene aber besteht, wie jeder aus einem Pakete hervorgehende Eisenstab, aus zahlreichen, neben- und aufeinander liegenden, durch Schweißung verbundenen Streifen. Unter der Einwirkung der darüber hinrollenden Räder lösen sich allmählich die Schweißstellen, die Schiene fängt an aufzusplittern und wird unbrauchbar, ehe noch die eigentliche Abnutzung des Kopfes ein Auswechseln erforderlich gemacht haben würde.

Es ist klar, daß dieser Übelstand vermieden, die Schiene haltbarer werden muß, wenn sie aus ungeschweißtem Eisen, also aus Flußeisen, gefertigt wird.

Die ersten Versuche, Schienen aus Flußeisen anzuwenden, wurden bald nach Einführung des Bessemerverfahrens im Anfange der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts angestellt. Man beschränkte ihre Anwendung anfänglich auf die vielbenutzten Gleise der Bahnhöfe und auf starke Steigungen. Zwei Umstände waren es vornehmlich, die sich einer raschen Ausbreitung der Anwendung entgegensetzten. Der eine war die größere Kostspieligkeit des Bessemermetalls in damaliger Zeit, der andere der Mangel an Erfahrungen über die richtige Behandlung des Flußeisens bei der Verarbeitung und die zweckmäßigste chemische Zusammensetzung. Um die Schienen möglichst widerstandsfähig zu machen, glaubte man ein sehr festes und zugleich hartes Metall, wirklichen Stahl, verwenden zu müssen, dessen Zugfestigkeit mitunter mehr als 75 kg auf 1 qmm betrug. Bei einer so bedeutenden Festigkeit kann die Zähigkeit nur gering sein; die Schienen waren zu spröde, um lange haltbar zu sein.

Erst nachdem im Laufe der siebenziger Jahre des vorigen Jahrhunderts durch die inzwischen bewirkten Vervollkommnungen in den Einrichtungen der Bessemer- und Walzwerke die Möglichkeit geschaffen war, Schienen aus Bessemermetall ebenso billig oder noch billiger als früher geschweißte Schienen zu liefern, und als dann die Erfahrungen über die zweckmäßigste Wahl und Behandlung des Stoffs immer reicher wurden, verdrängte die Flußeisenschiene, gewöhnlich Stahlschiene genannt, ziemlich rasch die geschweißte, und seit Beginn der achtziger Jahre des vorigen Jahrhunderts hat die Anfertigung der letzteren fast ganz aufgehört.

Groß ist in der Tat der Unterschied in der Dauer der beiden Schienengattungen. Wenn ein zuverlässiger Vergleich zwar insofern schwierig ist, als hierbei die Anzahl und Größe der einzelnen Züge in Betracht zu ziehen sein würde, welche über die Schiene während ihrer Benutzung hinrollten, so ergibt sich immerhin aus den vorliegenden Ermittelungen, daß auf einer und derselben Bahnstrecke die Dauer der Flußeisenschiene ein Vielfaches von derjenigen der Schweißeisenschiene beträgt. So z. B. mußten von den seit 1869 verlegten Schweißeisenschienen der Eisenbahngesellschaft Grand

Central Belge bis zum Schlusse des Jahres 1882 41 v. H. ausgewechselt werden; von den in dem nämlichen Zeitabschnitte gelegten Flußeisenschienen dagegen betrug die auszuwechselnde Zahl nur 0,42 v. H. Das sind Erfolge des Eisenhüttenbetriebes, welche auch große wirtschaftliche Bedeutung besitzen.

Jede Eisenbahnschiene soll zäh genug sein, um den erheblichen und stets sich wiederholenden Erschütterungen, welchen sie unterworfen ist, andauernd Widerstand zu leisten, zugleich aber hart genug, um unter dem Gewichte der darüber hinrollenden Züge keine bleibenden Formveränderungen zu erleiden[1]). Die Zugfestigkeit der Eisenbahnschienen soll nach den Vorschriften der meisten Eisenbahnverwaltungen 55 bis 65 kg auf 1 qmm betragen; zum Teil sind bei Bemessung dieser Ziffer die besonderen Verhältnisse, z. B. die Steigungen, der Bahnen maßgebend, welche die Schienen verwenden. Zur Prüfung der Zähigkeit dienen Schlagproben, welche der Querschnittsform der Schiene entsprechend bemessen werden.

Beispiele der Zusammensetzung gut bewährter Schienen.

	Kohlenstoff	Mangan	Silicium	Phosphor	Schwefel
Schienen auf Schweizer Bahnen (Mittelwerte aus 5 Analysen), nach Tetmajer („Stahl und Eisen" 1884, Seite 610)	0,35	0,48	0,05	0,07	0,06
Schienen der Pennsylvaniabahn, nach Dudley (Transactions of the American Institute of Mining Engineers, Band IX, Seite 321)	0,33	0,49	0,06	0,08	n.best.
Deutsche, in den siebenziger Jahren gefertigte Schienen, nach Braune (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1880, Seite 241)	0,25	0,40	0,18	0,09	0,05
Russische Schienen nach Belelubsky (v. Dormus, Weitere Studien über Schienenstahl, Seite 39)	0,28	0,67	0,24	0,11	n.best.
Schienen von finnländischen Bahnen (Mittelwerte aus 8 Analysen), nach Tetmajer (wie oben)	0,35	0,93	0,05	0,05	0,13

In der Jetztzeit gibt man jedoch nicht selten den Schienen einen etwas höheren Kohlenstoff- und auch Mangangehalt als in den aufgeführten Beispielen. Nach W. Richards und E. P. Martin[2]) sollen die Schienen enthalten

	mindestens	höchstens
Kohlenstoff	0,35 v. H.	0,50 v. H.
Silicium	0,05 „	0,10 „
Schwefel	0,04 „	0,08 „
Phosphor	—	0,08 „
Mangan	0,75 „	1,00 „

[1]) Geringere Bedeutung besitzt der Härtegrad der Schienen gegenüber der stattfindenden Abnutzung. Beobachtungen im Betriebe haben mitunter ergeben, daß nach mehrjähriger Benutzung unter übrigens gleichen Verhältnissen weichere Schienen weniger als härtere abgenutzt worden waren (Glasers Annalen, Band 14, Seite 149).

[2]) Otto Vogel, Jahrbuch für das Eisenhüttenwesen für das Jahr 1900 (Düsseldorf 1902), Seite 313.

Nordamerikanische Bahnen schreiben häufig für verschiedene Schienenprofile auch verschiedene Zusammensetzung vor und zwar einen um so höhern Kohlenstoffgehalt, je größer das Schienengewicht ist[1]). So z. B. verlangt die Louisville and Nashville Eisenbahn für Schienen aus dem basischen Martinofen:

	Kohlenstoff
bei Schienen mit einem Gewichte von 28,9 kg auf den laufenden Meter	0,45 bis 0,52 v. H.
„ „ „ „ „ „ 34,7 „ „ „ „ „	0,50 „ 0,57 „
„ „ „ „ „ „ 37,2 „ „ „ „ „	0,55 „ 0,60 „
„ „ „ „ „ „ 39,7 „ „ „ „ „	0,62 „ 0,67 „

Der Mangangehalt soll bei allen Schienen dieser Bahn 0,9 bis 1,0 v. H., der Siliciumgehalt 0,10 bis 0,20 v. H., der Phosphorgehalt nicht über 0,05 v. H., der Schwefelgehalt ebenfalls nicht über 0,05 v. H. betragen.

Für Darstellung der für die Schienenerzeugung bestimmten Blöcke werden sämtliche Verfahren der Flußeisenerzeugung mit Ausnahme des Tiegelstahlschmelzens benutzt, in erster Reihe das Bessemer- und Thomasverfahren. Daß sich durch letztere Verfahren ein dem im Martinofen gewonnenen Metalle gleichwertiges Erzeugnis darstellen lasse, wurde schon früher (Seite 375 III) erwähnt; nicht völlige Einstimmigkeit herrscht jedoch hinsichtlich der Frage, ob die aus Thomasmetall erzeugten Schienen den aus Bessemermetall erzeugten gleichwertig seien. Das Thomasverfahren ermöglicht zwar die Gewinnung eines phosphorärmeren Metalls als das Bessemerverfahren in den meisten Ländern, aber der erforderliche Kohlenstoffgehalt muß ihm erst nach dem Blasen, kurz vor dem Ausgießen, zugeführt werden, und man hat die Frage aufgeworfen, ob hierin nicht ein Nachteil begründet sei. Obschon umfassende Untersuchungen erwiesen haben, daß die Thomasschienen im allgemeinen gleiche Sicherheit wie Bessemerschienen gewähren, ziehen doch einige Eisenbahnverwaltungen noch die letzteren vor[2]).

In Rücksicht auf die Vorteile, welche die Verarbeitung größerer Blöcke gewährt, gießt man diese für mindestens doppelte, häufiger drei- bis achtfache Schienenlänge. Die Länge einer einzelnen Schiene ist, abweichend nach den besonderen Bestimmungen, 9 bis 15 m, das Gewicht der Schienen für Vollbahnen auf je 1 m Länge 30 bis 50 kg. Für die Berechnung des Blockgewichts muß dsa Gewicht der entstehenden Abfälle und des Abbrandes hinzugerechnet werden. Das Gewicht der ersteren im Verhältnis zum Blockgewicht ist um so geringer, je größer die Länge des Walzstücks ist.

Die Art und Weise der ferneren Verarbeitung hängt nun von den vorhandenen Einrichtungen ab. Blöcke für mehr als vier Schienenlängen werden regelmäßig, nachdem sie in Ausgleichgruben oder Wärmöfen ihre gleichmäßige Erhitzung erlangt haben, auf einem Blockwalzwerke vorgestreckt, dann, wenn erforderlich, auf

---

[1]) Otto Vogel, Jahrbuch für das Eisenhüttenwesen für das Jahr 1900 (Düsseldorf 1902), Seite 315, aus den Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1900.

[2]) Näheres über diese Frage in den unter Literatur genannten Abhandlungen.

einer Schere durchgeteilt und nunmehr erst dem eigentlichen Schienenwalzwerke überwiesen. Mitunter ist das Fertigwalzen auf letzterem möglich, ohne daß eine nochmalige Erhitzung des durchgeteilten Blockes notwendig wird. Hatte man nun das aus dem Hochofen kommende Roheisen, ohne es umzuschmelzen, in der Birne verarbeitet und die heißen Blöcke unmittelbar, nachdem sie in Ausgleichgruben verweilt hatten, dem Blockwalzwerke überwiesen, so entsteht die Schiene aus dem Roheisen ohne andern Aufwand von Brennstoff, als für die Kesselheizung erforderlich ist. Geht die Arbeit weniger rasch von statten, so müssen die Blöcke nach ihrer Teilung zunächst in einen Wärmofen gebracht werden, ehe sie zum Schienenwalzwerke gelangen.

Auch Blöcke von vierfacher Länge werden mitunter erst auf dem Blockwalzwerke gestreckt und dann geteilt, wenn das Schienenwalzwerk nicht geeignet ist, sie in dieser Länge auszuwalzen; Blöcke für doppelte oder dreifache Länge dagegen werden in der Regel ohne weiteres, sobald sie die Gruben oder Wärmöfen verlassen, dem Schienenwalzwerke übergeben, wo dann das Auswalzen in einer einzigen Hitze erfolgt. In welcher Länge die Schienen sich auswalzen lassen, hängt vornehmlich von der Arbeitsfähigkeit der Betriebsmaschine und der Größe des freien Platzes vor und hinter den Walzen ab. Auf einzelnen Werken walzt man Schienen in Längen bis 60 m.

Zum Schienenwalzen dienen Dreiwalzwerke, seltener Kehrwalzwerke. In der einfachsten Anordnung enthält ein Schienenwalzwerk zwei Walzgerüste mit Vor- und Fertigwalzen; die Walzen haben gewöhnlich 600 bis 700 mm Durchmesser und machen 100 bis 120 Umdrehungen in der Minute; das Schwungrad wiegt 30 bis 50 t. Das Auswalzen zur fertigen Schiene erfolgt in 11 bis 24 Durchgängen, je nachdem der Block auf dem Blockwalzwerke bereits vorgestreckt war oder nicht, und man auf doppelte oder noch mehrfache Schienenlänge walzt. In letzterem Falle ist der zum Schienenwalzwerk gelangende Block stärker und bedarf daher einer größeren Zahl Durchgänge. Handelt es sich jedoch um Erzielung sehr bedeutender Leistungen, so ordnet man mehrere Walzstrecken mit je einem oder zwei Walzgerüsten hintereinander an. Von dem Blockwalzwerke gehen die Blöcke zu dem ersten Schienenwalzwerke, welches nur Vorwalzen enthält, von hier zu dem folgenden mit den Fertigwalzen oder auch, falls noch ein drittes Walzwerk vorhanden ist, mit Zwischenkalibern und dann von hier aus erst nach den Fertigwalzen. Jede folgende Walzstrecke muß in Rücksicht auf die stattgehabte Streckung des Arbeitsstücks größere Geschwindigkeit erhalten als die vorausgegangene, damit die Arbeit gleichzeitig in den verschiedenen Walzstrecken beendet werde und man ununterbrochen in sämtlichen Strecken walzen kann [1]).

---

[1]) Beschreibungen einiger neuerer Anlagen für Eisenbahnschienendarstellung findet der Leser in Glasers Annalen, Band 18, Seite 132; „Stahl und Eisen“ 1886, Seite 667; 1889, Seite 1; 1891, Seite 29 und 33; 1897, Seite 136 und 181; 1898, Seite 709; 1901, Seite 1181 und Tafel VIII; 1901, Seite 1223, 1298 bis 1303; J. v. Ehrenwerth, Das Berg- und Hüttenwesen auf der Weltausstellung zu Chicago, Seite 195.

Von dem Schienenwalzwerke gelangt die noch glühende Schiene zu Kreissägen, welche die Enden abschneiden und die Schienen in einfache Längen zerteilen. In der Regel sind so viele Kreissägeblätter vorhanden und in entsprechendem Abstande voneinander angebracht, daß sämtliche erforderlichen Schnitte mit einem Male ausgeführt werden können. Für Schienen von doppelter Länge sind demnach drei Sägen erforderlich, zwei zum Abschneiden der Enden und eine zum Durchteilen; für Schienen von dreifacher Länge müssen vier Sägen vorhanden sein usf.

Die Bewegung der Blöcke von den Ausgleichgruben und Wärmöfen nach dem Blockwalzwerke, von hier nach der Schere, alsdann nach dem Schienenwalzwerke, den Sägen und schließlich nach dem Warmlager, wo die Schienen der Abkühlung überlassen werden, erfolgt auf Rollbahnen von der früher besprochenen Einrichtung. Hierdurch ist sowohl die Zeitdauer für die erforderliche Bewegung als der Aufwand an menschlicher Arbeit auf ein tunlichst geringes Maß beschränkt, während die Erzeugungsfähigkeit der Werke sehr beträchtlich ist. Dreiwalzwerke jener einfachsten Einrichtung mit zwei Walzgerüsten, welche nur Blöcke für doppelte Schienenlänge, ohne daß sie im Blockwalzwerke vorgestreckt wurden, verarbeiten, können täglich unter günstigen Verhältnissen etwa 350 t Schienen liefern; gießt man größere Blöcke, um sie im Blockwalzwerke vorzustrecken und in drei- oder vierfacher Länge auszuwalzen, so kann man die Erzeugung auf den doppelten bis dreifachen Betrag steigern, und noch größere Erzeugungen lassen sich erzielen, wenn man in der erwähnten Weise auch das Schienenwalzen in mehreren voneinander getrennten Walzstrecken ausführt. Nordamerikanische, nach diesem Grundsatz eingerichtete Werke vermögen täglich 1500 t Schienen zu liefern. Nicht überall sind jedoch die Absatzverhältnisse so günstig, um so bedeutende Leistungen zu ermöglichen, auch wenn die Einrichtungen dafür vorhanden sein sollten.

Sehr bedeutend ist der Arbeitsverbrauch solcher rasch und ununterbrochen laufender Schienenwalzwerke. Nach v. Ehrenwerth sind jene amerikanischen Schienenwalzwerke mit Betriebsmaschinen versehen, welche 1600 bis 3300 Pferdestärken zu entwickeln fähig sind, je nachdem ein oder zwei Walzgerüste dadurch angetrieben werden.

Da der Kopf der Schienen langsamer abkühlt als der Fuß, ziehen sich die Schienen während des Erkaltens krumm und müssen nach dem Erkalten auf einer Presse gerichtet werden. Bisweilen wirkt man diesem Verziehen entgegen, indem man die Schienen im noch glühenden Zustande, sobald sie von den Scheren kommen, in entgegengesetzter Richtung biegt, so daß sie nunmehr beim Erkalten die richtige oder wenigstens annähernd richtige Form annehmen[1]). Schließlich werden die Schienen, um für das Verlegen fertig zu sein, an den Enden gefräst, mit den für die Befestigung

---

[1]) Vorrichtungen hierfür auf nordamerikanischen Eisenwerken: „Stahl und Eisen" 1901, Seite 223 und: Das Richten von Eisenbahnschienen im kalten und warmen Zustande: „Stahl und Eisen" 1907, Seite 797.

dienenden Löcher versehen usf. Man nennt diese Arbeiten, deren Besprechung nicht mehr in das Gebiet der Eisenhüttenkunde gehört, das Fertigmachen oder Adjustieren der Schienen.

Der Abbrand und der Brennstoffverbrauch beim Wärmen der Blöcke entspricht den oben bei Besprechung der Wärmöfen und Heizgruben gegebenen Mitteilungen. Der Brennstoffaufwand zum Heizen der Dampfkessel beträgt gewöhnlich 100 bis 150 kg Steinkohlen für 1 t fertiger Schienen, die Löhne für das Glühen und Walzen 1,0 bis 2,5 Mark, die Löhne für das Fertigmachen und Nebenarbeiten etwa ebensoviel. Der Betrag der Löhne für das Glühen und Walzen ist vornehmlich von der Vollkommenheit der mechanischen Einrichtungen für die Bewegung der Blöcke und Schienen abhängig; durch Vervollkommnung dieser Einrichtungen ist man imstande gewesen, die Zahl der beim Walzen beschäftigten Arbeiter auf weniger als ein Drittel der früheren Zahl zu verringern[1]). Die Gesamtkosten für die Umwandlung des rohen Blockes in die zum Verlegen fertige Schiene betragen auf deutschen Werken ungefähr 16 bis 20 Mark für 1 t Schienen.

e) Darstellung der Bleche.

Auch für Bleche wird von Jahr zu Jahr Flußeisen in immer größerem Umfange an Stelle des früher ausschließlich benutzten Schweißeisens verwendet. Die Ansprüche, welche man an das Verhalten der Bleche stellt, sind denen ähnlich, welche an alles Bauwerkeisen gestellt werden. Ein hohes Maß von Zähigkeit ist erforderlich, und besondere Wichtigkeit besitzt diese Eigenschaft, wenn das Blech bei entsprechend dünner Querschnittsstärke zur Verarbeitung im kalten Zustande durch Biegen, Pressen, Drücken und ähnliche Arbeiten bestimmt ist. Schweißeisenbleche müssen daher aus phosphorarmem Roheisen gefertigt, und das Verfahren muß so geleitet werden, daß der Schlackengehalt des Erzeugnisses möglichst gering ausfalle; für Darstellung feiner Bleche wurden bis vor wenigen Jahren nicht selten noch Frischfeuer in Gegenden betrieben, wo jede sonstige Veranlassung dazu fehlte. Jetzt sind auch diese Feuer meistens erloschen, und an die Stelle des Frischfeuereisens ist Flußeisen getreten. Für Darstellung des Stoffs zu Flußeisenblechen eignen sich vornehmlich die basischen Verfahren, und erst seit ihrer Einführung haben die Bestrebungen, Flußeisenblechen allgemeinere Verwendung zu verschaffen, durchgreifenden Erfolg gehabt. Die früher geschilderten Eigentümlichkeiten jener Verfahren erklären zur Genüge diese Tatsache.

Man unterscheidet Grobbleche und Feinbleche. Erstere, welche eine Stärke von 5 bis 35 mm besitzen können, werden für Dampfkesselanfertigung, Schiffsbau, Brückenbau und andere bauliche Zwecke benutzt; falls sie Formveränderungen durch Biegen, Aufbördeln usw. unterzogen werden sollen, pflegt man sie zuvor auf Rotglut zu erhitzen. Feinbleche müssen in gewöhnlicher Temperatur Formveränderungen durch die genannten Arbeiten ertragen.

[1]) „Stahl und Eisen" 1897, Seite 137.

Grobbleche aus Schweißeisen fertigt man aus Paketen, welche aus kreuzweise übereinander gelegten Rohschienen gebildet werden. Das im Schweißofen erhitzte Paket wird, um tunlichst von Schlacke gereinigt zu werden, unter einem Dampfhammer von 10 bis 15 t Gewicht geschweißt und zu einem flachen, vierseitig prismatischen Blocke ausgeschmiedet. Gewöhnlich sind zwei Hitzen hierfür erforderlich. Das Arbeitsstück heißt nunmehr eine Bramme. Man erhitzt sie abermals und walzt sie nun im Blechwalzwerke aus. Für schwere Bleche benutzt man Kehrwalzwerke, für weniger schwere entweder gewöhnliche Zweiwalzwerke mit Gewichtsausgleichung der Oberwalze (Abb. 281 und 282 auf Seite 132 und 133 III), oder auch Lauthsche Walzwerke mit entlasteter Ober- und Mittelwalze (Abb. 289 und 290 auf Seite 138 III, ferner Abb. 291 auf Seite 141 III).

Die vorgeschriebene Länge und Breite der Blechtafel wird erzielt, indem man die letztere bald der Länge, bald der Quere nach zwischen den Walzen hindurchgehen läßt, so daß Streckung in beiden Richtungen stattfindet. Man erreicht hierdurch den anderen Zweck, eine allzu einseitige Ausbildung der Fasern nach der einen Richtung zu vermeiden, mit welcher eine Schwächung der Festigkeit in der Richtung gegen die Faser Hand in Hand gehen würde. Die Fasern des fertigen Bleches erstrecken sich in derjenigen Richtung, in welcher das Blech zuletzt gewalzt wurde; daß immerhin die Festigkeit des Bleches in dieser Richtung größer sei als in der entgegengesetzten, wurde schon früher erwähnt.

Um zu verhüten, daß der Walzsinter, welcher auf den Blechtafeln sich bildet, eingewalzt werde und die Reinheit der Oberfläche beeinträchtige, entfernt man ihn vor jedem neuen Durchgange durch Abkehren mit einem Besen oder durch Aufwerfen von nassen Reisern, bei den letzten Stichen durch Aufblasen von Dampf.

Schließlich wird die noch glühende Blechtafel auf einer eisernen Richtplatte mit Holzhämmern geebnet.

Grobbleche aus Flußeisen werden ohne weiteres aus dem Blocke gewalzt, dem man beim Gießen schon die Form einer dicken Platte gibt, um die Zahl der erforderlichen Durchgänge zu verringern. Man nennt diesen flachen Block häufig ebenfalls Bramme. In großen Werken wird das Blechwalzwerk durch ein Blockwalzwerk ergänzt. Wie bei der Schienenanfertigung gießt man alsdann die Blöcke in solchen Abmessungen, daß mehrere Tafeln daraus gefertigt werden, streckt sie im Blockwalzwerke vor, teilt sie und überweist sie nunmehr dem Blechwalzwerke. Rollentische, wie bei Schienenwalzwerken, bewirken die Bewegung nach dem Blockwalzwerke, von hier zur Schere, dann zum Blechwalzwerke und schließlich nach dem Lager[1]). Die Einrichtung der Walzwerke ist die gleiche wie beim Walzen von Schweißeisenblechen.

Feinbleche aus Schweißeisen werden in der Regel aus

---

[1]) Beschreibung solcher Anlagen: „Stahl und Eisen" 1891, Seite 32 nebst Abbildung auf Tafel 5; Seite 732; 1897, Seite 32, 185 und 214; 1902, Seite 146.

Flachstäben, Plattinen genannt, gefertigt, welche entweder aus einem Pakete oder auch, wo noch Frischfeuerbetrieb für diesen Zweck unterhalten wird, aus der Luppe des Frischfeuers gewalzt oder geschmiedet werden. Die Stäbe zerteilt man in Stücke von solcher Länge, daß jedes eine Blechtafel gibt. Diese Stücke, welche man Stürze nennt[1]), werden im Schweißofen erhitzt, dann im Blechwalzwerke zunächst in der Längenrichtung gestreckt, bis ihre Länge gleich der Breite des herzustellenden Bleches ist, hierauf in der Querrichtung unter öfters wiederholtem Erhitzen bis zur hellen Rotglut (nicht Schweißtemperatur) zu der vorgeschriebenen Stärke ausgewalzt. Um die Arbeit zu beschleunigen und einer starken Abkühlung der dünnen Bleche durch die Walzen entgegenzuwirken, legt man eine größere Zahl Tafeln aufeinander, sobald ihre Querschnittverdünnung ein gewisses Maß erreicht hat, und führt sie gemeinschaftlich zwischen den Walzen hindurch.

Man benutzt entweder ein Zweiwalzwerk mit einem oder zwei Walzgerüsten oder ein Lauthsches Dreiwalzwerk wie in Abb. 285 bis 288 (Seite 136 und 137 III) dargestellt ist. Die Oberwalze ist bei beiden Arten der Feinblechwalzwerke gewöhnlich Schleppwalze (Seite 121 III).

Schließlich ist ein Ausglühen der beim Walzen hart gewordenen Bleche erforderlich. Flammöfen mit hoher Feuerbrücke, stark schmauchender (reduzierender) Flamme und wagerechtem Herde dienen für diesen Zweck; sehr feine Bleche werden auch wohl in besonderen Gefäßen geglüht. Bei diesem Ausglühen nehmen die Bleche schwarze Farbe an; man nennt sie deshalb, wenn sie in diesem Zustande in den Handel kommen, Schwarzbleche, zum Unterschiede von den Weißblechen, d. h. Feinblechen, welche einen Zinnüberzug erhalten haben.

Die Herstellung von Feinblechen aus Flußeisen ist dem beschriebenen Verfahren der Herstellung aus Schweißeisen sehr ähnlich. Aus dem Blocke werden wiederum flache Stäbe (Plattinen) gewalzt, diese werden zerschnitten, aufs neue erhitzt und dem Feinblechwalzwerke übergeben, welches in derselben Weise eingerichtet ist, wie für Darstellung von Schweißeisenblechen. Wo ein Grobblechwalzwerk mit dem Feinblechwalzwerke verbunden ist, verwendet man mit Vorteil Grobbleche, welche wegen Schönheitsfehlern unbenutzbar sind, um daraus Feinbleche zu erzeugen, nachdem die fehlerhafte Stelle durch Abschneiden des betreffenden Teils entfernt worden war.

Bei einem von Wittgenstein eingeführten Verfahren[2]) wird der gegossene Block zunächst in einem Universalwalzwerke (S. 161 III) mit drei wagerechten Walzen zu einer Platte von 50 mm Stärke ausgewalzt; diese wird, während sie noch glühend ist, an den Kanten beschnitten, rasch nochmals gewärmt und nun zunächst in einem Lauthschen Dreiwalzwerke auf 5 mm Stärke gestreckt. Aus dem Lauthschen Walzwerke kommend, rollt die Tafel zu

[1]) Die aus solchen Stürzen gewalzten Feinbleche heißen daher in manchen Gegenden Sturzbleche.

[2]) Wittgensteinsches Feinblechwalzwerk: „Stahl und Eisen“ 1892, Seite 999.

einer Gruppe von fünf unmittelbar hintereinander angeordneten Zweiwalzwerken, welche sie der Reihe nach durcheilt, um aus dem letzten in einer Stärke von 1,5 bis 2 mm bei 40 bis 50 m Länge herauszukommen. Die lange Tafel wird nun in Stücke von 14 bis 17 m Länge zerteilt, um dann auf einem letzten Walzwerke zu der verlangten Stärke fertig gewalzt zu werden. Der Hauptunterschied dieses Verfahrens im Vergleiche zu dem früher besprochenen liegt demnach in dem Umstande, daß die Bleche nicht in zahlreichen einzelnen Stücken, deren jedes beschnitten werden muß, gewalzt werden, sondern in einer langen Tafel, welche nur vor der letzten Vollendung geteilt wird. Die entstehenden Abfälle sind geringer, auch der Abbrand und der Kohlenverbrauch zum Wärmen ist vermutlich niedriger; aber die Kosten der Anlage sind höher.

f) Darstellung der Panzerplatten.

Seit dem Krimkriege im Jahre 1855, in welchem von den Franzosen zum ersten Male mit Erfolg eisengepanzerte schwimmende Batterien zur Anwendung gebracht wurden[1]), hat die Herstellung der Panzerplatten für den Schiffsbau eine immer mehr zunehmende Bedeutung erlangt. Man fertigt sie in Stärkeabmessungen bis zu 400 mm und in Gewichten bis 150 t. Die meisten Panzer sind jedoch nur 200 bis 300 mm stark und 20 bis 30 t schwer. Sie sollen zäh genug sein, um unter der Wirkung der auftreffenden Geschosse nicht zersplittert zu werden, zugleich aber auch hart genug, um das Durchdringen der Geschosse unmöglich zu machen. Die Aufgabe, beide Eigenschaften zu vereinigen, suchte man früher gewöhnlich in der Weise zu lösen, daß man die Vorderseite der Platte, welche von den Geschossen getroffen wird, aus hartem Flußeisen (Stahl), die Rückseite dagegen aus zähem Schweißeisen bestehen ließ, welche beide Eisengattungen zu einem einzigen Stücke vereinigt und gemeinschaftlich ausgewalzt wurden. Solche Platten nannte man Verbund- oder Compoundplatten. Die Schweißeisenplatte wurde durch Zusammenschweißen mehrerer für sich gefertigter Bleche und Ausstrecken im Walzwerke dargestellt; die Verbindung mit dem Flußeisen geschah durch Aufgießen des letzteren auf die glühend gemachte Schweißeisenplatte, nachdem diese in eine entsprechend vorgerichtete Form eingelegt oder senkrecht eingestellt worden war[2]). Das Flußeisen pflegte 0,55 bis 0,90 v. H. Kohlenstoff zu enthalten. Nach dem Erstarren des aufgegossenen Metalls wurde die Platte in einen Wärmofen gebracht und dann im Walzwerke gestreckt.

Seitdem man die Eigenschaft eines Nickelgehalts im Flußeisen erkannt hat, die Härte und Festigkeit zu erhöhen, und seitdem man außerdem durch Harveys Verfahren der Zementierung (Seite 408 III) die Möglichkeit erlangte, die Platten auf der einen

[1]) Über frühere Versuche zur Anwendung eiserner Schiffspanzer sowie über die geschichtliche Entwickelung der Panzerplattendarstellung vergl. Kupelwiesers unter Literatur genannte Abhandlung.

[2]) Näheres über die Ausführung dieses Verfahrens auf verschiedenen Werken enthält die unter Literatur genannte Abhandlung Brinks.

Seite stark zu härten, während sie auf der Rückseite ihren geringeren Härtegrad und ihre ursprüngliche Zähigkeit beibehielten, haben die aus nickelchromhaltigem Flußeisen gefertigten und in der erwähnten Weise gehärteten Panzerplatten jene Verbundplatten ziemlich rasch verdrängt.

Der Nickelgehalt der in verschiedenen Werken erzeugten Platten ist verschieden und beträgt bis 6 v. H.; neben dem Nickel wird nicht selten Chrom in geringer Menge bis zu 2 v. H. zugesetzt (Seite 26 III).

Zum Schmelzen des Metalls dient der Martinofen. Die gegossenen Blöcke werden nun in der Regel, nachdem sie in einem Wärmofen mit beweglichem Herde (Abb. 428 bis 430, Seite 428 III) zur Erlangung einer gleichmäßigen Temperatur ausreichend lange verweilt hatten, zunächst unter einer Wasserdruckpresse verdichtet und gestreckt, um dann nach abermaliger Erhitzung dem Walzwerke überwiesen zu werden. Man benutzt ein Kehrwalzwerk mit starkem Rollentisch und eignem Antrieb der Rollen. Das Panzerplattenwalzwerk bei Kr. Krupp in Essen besitzt 4 m lange Walzen von 1,740 m Durchmesser; der höchste erreichbare Abstand der beiden Walzen voneinander beträgt 1,8 m, die Arbeitsleistung der Dampfmaschine 3500 Pferdestärken [1]).

Die gewalzte Platte gelangt nunmehr, nachdem die Oberfläche durch mechanische Bearbeitung mit Hilfe eines Sandstrahlgebläses oder in anderer Weise von ihrer Oxydhaut befreit worden ist, zum Zementieren. Ein Ofen mit beweglichem Herde dient auch diesem Zwecke. Auf dem Herde mauert man aus feuerfesten Ziegeln Kanäle, durch welche die Feuerungsgase hindurchziehen, um die Platte auch von unten her zu erhitzen, ohne sie selbst zu berühren; auch die Seiten der Platten sind durch Ummauerung vor der Berührung der Verbrennungsgase geschützt. Auf die obere Seite der Platte kommt bei Benutzung des Harveyverfahrens Holzkohlenpulver oder Tierkohle, hierauf eine zweite Platte, so daß beide gemeinschaftlich zementiert werden. Soll Leuchtgas als Zementierungsmittel verwendet werden, so legt man die beiden Platten in einigem Abstande übereinander, schließt an den Rändern den Zwischenraum luftdicht durch Asbestpackung und leitet in den so gebildeten Hohlraum das Gas an verschiedenen Stellen durch Röhren ein, welche innerhalb des Heizraums durch feuerfeste Verpackung vor der Zerstörung geschützt sind [2]). Zu oberst werden die Platten durch eine Sandschicht abgedeckt. Das Glühen beansprucht eine Zeitdauer von etwa 14 Tagen, wobei die Kohlung ungefähr 75 mm tief eindringt. Alsdann folgt das Biegen der aufs neue erhitzten Platte in Gesenken unter einer Wasserdruckpresse, hierauf die mechanische Bearbeitung der Ränder, Bohren der für die Befestigung dienenden Löcher usf. auf großen Werkzeugmaschinen. Den Schluß bildet das Härten der Platte. Nachdem

---

[1]) Abbildung dieses Walzwerkes: „Stahl und Eisen" 1893, Seite 837; eines Panzerplattenwalzwerks in Vickers' Works in Sheffield: Engineering, Band 64, Seite 584.

[2]) Vergl. hierüber „Stahl und Eisen" 1895, Seite 842.

sie auf die Härtungstemperatur erhitzt ist, wird sie in wagerechter Lage über einen großen, zur Aufnahme des abfließenden Wassers dienenden Behälter gebracht und hier aus zahlreichen Röhren auf beiden Seiten (damit nicht Spannung entstehe) mit Wasser unter einem Drucke von 0,7 kg auf 1 qcm bespritzt. Das Verfahren währt mehrere Stunden, bis die Platte genügend abgekühlt ist, und der Wasserverbrauch hierbei beträgt mehrere Hundert Tonnen. Eine deutliche Härtung erlangt selbstverständlich nur diejenige Seite der Platte, welche zuvor zementiert worden war.

5. Die Maschinen zur Zerteilung der Arbeitsstücke.

a) Erläuterungen.

In Vorstehendem war mehrfach von einer Zerteilung der Arbeitsstücke die Rede. Rohschienen des Puddelverfahrens werden in kurze Stücke zerschnitten, um paketiert und geschweißt zu werden; große Flußeisenblöcke werden, nachdem sie in Blockwalzwerken vorgestreckt sind, zerteilt, um dann erst weiter verarbeitet zu werden; von gewalzten Stäben und Blechen werden die Enden abgeschnitten, welche stets unvollständig ausgebildet sind; Schienen, die in mehrfachen Längen gewalzt worden waren, werden zu einfachen Längen geteilt usf.

Auch in kleinen Eisenwerken geschieht diese Arbeit durch Maschinen, welche bisweilen von der Betriebsmaschine des Walzwerkes selbst ihren Antrieb empfangen, in größeren Anlagen dagegen von einer besonderen Maschine betrieben werden. Die Vorgänge hierbei sind rein mechanischer Natur; bei der Unentbehrlichkeit jener Maschinen auch für den eigentlichen Eisenhüttenbetrieb möge jedoch eine kurze Besprechung ihrer wichtigsten Formen hier folgen.

b) Hebelscheren.

Die Scheren gehören zu den ältesten aller Zerteilungsmaschinen. Ihre Wirkungsweise ist die nämliche wie diejenige der für die mannigfachsten Zwecke täglich benutzten Handscheren: eine aus Stahl gefertigte Schneide, gewöhnlich unter einem Winkel a = 75 bis 85 Grad (Abb. 445) angeschliffen, gleitet dicht an einer zweiten, ebenso angeschliffenen Schneide vorbei, dabei das dazwischen gebrachte Arbeitsstück zerteilend. Schließen die Schneiden nicht dicht aneinander an, so wird das Arbeitsstück, statt zertrennt zu werden, um so leichter durch die niedergehende Schneide umgebogen, je dünner es ist, und eine Klemmung der Schneiden ist die Folge davon.

Abb. 445.

Eine übliche Anordnung solcher Hebelscheren ist durch die Abb. 446 in 1/40 der wirklichen Größe veranschaulicht. Von den beiden Schneiden, welche aus hartem Stahl gefertigt und zum Auswechseln eingerichtet sein müssen, ist die eine, die bewegliche, in einem kräftigen, um wagerechte Drehungszapfen schwingenden Gußeisenhebel a, die andere in dem Lagerstuhle b befestigt. Ein

zweiter gegenüberstehender Lagerstuhl trägt den anderen Zapfen des Hebels. Der Hebel der abgebildeten Schere hat Winkelform und wird durch eine Schubstange bewegt; nicht minder häufig ist die Anwendung eines geradlinigen Hebels, dessen längerer, wagerecht liegender Arm an seinem Ende auf einer exzentrischen Scheibe aufruht und durch deren Drehung gehoben und gesenkt wird.

Der Drehungspunkt der beweglichen Schneide liegt bei der abgebildeten Schere tiefer als die Oberkante der festen, wodurch ein allmählich verlaufendes Abtrennen auch beim Zerteilen dünner Arbeitsstücke erreicht wird, die Arbeitsstücke aber aus dem geöffneten Scherenmaule um so leichter herausgedrückt werden, je größer ihre Dicke ist. Bei den zum Zerteilen dickerer Arbeitsstücke bestimmten Scheren legt man deshalb den Drehungspunkt etwas höher als die Oberkante der festen Schneide, so daß beide Schneiden in parallele Stellung kommen, schon ehe sie sich vollständig berühren.

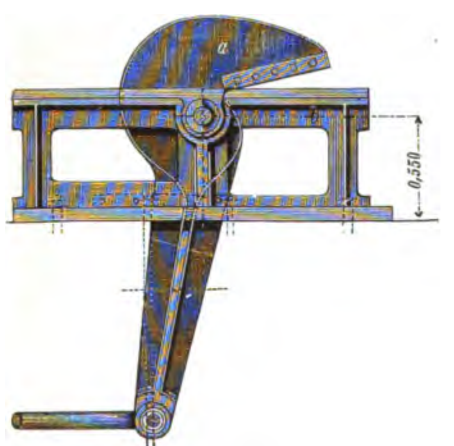


Abb. 446.

Man läßt diese Scheren mit 30 bis 60 Hüben in der Minute arbeiten und bedarf für den Betrieb einer Arbeit von zwei bis sechs Pferdestärken, abweichend nach der Stärke der zu zerteilenden Arbeitsstücke.

Zum Zerteilen von Rohschienen, zum Abschneiden der Enden an gewöhnlichem Handelseisen sind diese Hebelscheren ihrer einfachen Einrichtung halber ziemlich gebräuchlich; sie verlieren jedoch um so mehr an Zweckmäßigkeit, je breiter und stärker die zu zerteilenden Arbeitsstücke sind. Es erklärt sich dies leicht aus dem Umstande, daß einerseits die Kraftübertragung um so ungünstiger ausfällt, und ein Herausdrücken des Arbeitsstücks aus dem Scherenmaule um so leichter stattfindet, je weiter dieses geöffnet werden muß, um das Arbeitsstück einzulassen, während andererseits wieder das Verhältnis der Hebelarmlängen um so ungünstiger für die Leistung der Schere wird, je weiter die Schnittstelle vom Drehungspunkte entfernt ist. Je dicker aber das Arbeitsstück ist, und je näher dem Drehungspunkte das Schneiden stattfinden soll, desto weiter muß das Maul geöffnet werden; je breiter das Arbeitsstück ist, desto ungleichförmiger ist die Schnittwirkung.

Aus letzterem Grunde macht man die Schneiden selten länger als 0,6 m, häufiger noch sind sie kürzer. Sollen breitere Arbeitsstücke, z. B. Bleche, mit Hilfe solcher Scheren zerschnitten werden, so ist dieses nur durch mehrere aufeinander folgende Schnitte zu bewirken, zwischen denen das Arbeitsstück jedesmal um die Schnittlänge weitergeschoben wird; eine solche Arbeit aber ist zeitraubend und liefert leicht fehlerhafte Schnitte.

c) Parallelscheren.

Der erwähnte Nachteil eines veränderlichen Scherwinkels und verschiedener Kraftwirkung an verschiedenen Stellen der Schneide der Hebelscheren fällt weg, wenn man die bewegliche Schneide, statt im Bogen mit Hilfe eines doppelarmigen Hebels, sich geradlinig durch Vermittelung einer Druckstange oder eines Kolbens gegen die festliegende Schneide bewegen läßt. Scheren dieser Art heißen Parallelscheren oder, da die Schneide innerhalb einer rahmenartigen Führung sich bewegt, Rahmenscheren. Sie gewähren auch die Möglichkeit, beliebig lange Schneiden anzuwenden, und sind deshalb zum Zerteilen breiter Arbeitsstücke, zumal von Blechen, fast ausnahmslos in Anwendung, werden aber mit entsprechend kürzeren Schneiden auch nicht selten zum Zerteilen von weniger breiten Gegenständen — Rohschienen, Flußeisenblöcken u. a. — benutzt.

Die untere Schneide liegt auch bei diesen Scheren fest und besitzt wagerechte Lage, die obere wird in der erwähnten Weise, also senkrecht, gegen die untere bewegt. Damit aber das zu zerteilende Arbeitsstück nicht mit einem Male in seiner ganzen Breite von den Schneiden erfaßt werde — wodurch ein beträchtlicher Stoß erzeugt werden und ungenaue Schnittflächen entstehen würden —, gibt man der oberen Schneidkante eine Neigung von $3^1/_2$ bis 7 Graden, so daß beim Niedergange der Schneide der Schnitt an der tiefsten Stelle beginnt und allmählich nach dem entgegengesetzten Ende hin verläuft. Die Bewegung der oberen Schneide erfolgt entweder von einer umlaufenden Welle aus durch Vermittelung eines Krummzapfens, und in diesem Falle dient ein Schwungrad auf jener Welle dazu, während des Leerganges die von der Betriebsmaschine geleistete Arbeit aufzuspeichern, oder durch Wasserdruck.

Eine große Schere der ersteren Art, von der Friedrich-Wilhelmshütte zu Mülheim a. d. Ruhr vor einigen Jahrzehnten gebaut, in ihrer allgemeinen Einrichtung jedoch mit zahlreichen neueren Scheren übereinstimmend, ist in Abb. 447 auf S. 456 dargestellt. Sie ist mit einer eigenen Dampfmaschine versehen, deren Zylinder an der Rückseite des Ständers teilweise zu sehen ist. Durch ein Getriebepaar wird die Bewegung auf die Hauptwelle der Maschine übertragen, welche an ihrem vorderen Ende den zur Auf- und Abwärtsbewegung der Druckstange *a* dienenden Krummzapfen trägt. Die Druckstange bewegt sich innerhalb eines Schlitzes des senkrecht geführten Schiebers *b*, an dessen unterem Ende die Stahlschneide *c* befestigt ist; die Breite dieses Schlitzes ist reichlich doppelt so groß als die Breite der Druckstange, so daß die letztere mit Hilfe der an der Vorderseite des Gerüstes sichtbaren Querstange mit Handhebel und Gegengewicht nach rechts oder links hinüber gedrückt werden kann. Die Unterkante des Schlitzes aber ist, wie die Abbildung erkennen läßt, an der rechten Seite tiefer als links; wird also die Druckstange nach rechts gedrückt (wie in der Abbildung), so findet sie in dem Schlitze ausreichenden Spielraum zum Auf- und Niedergehen, ohne daß der Schieber *b*,

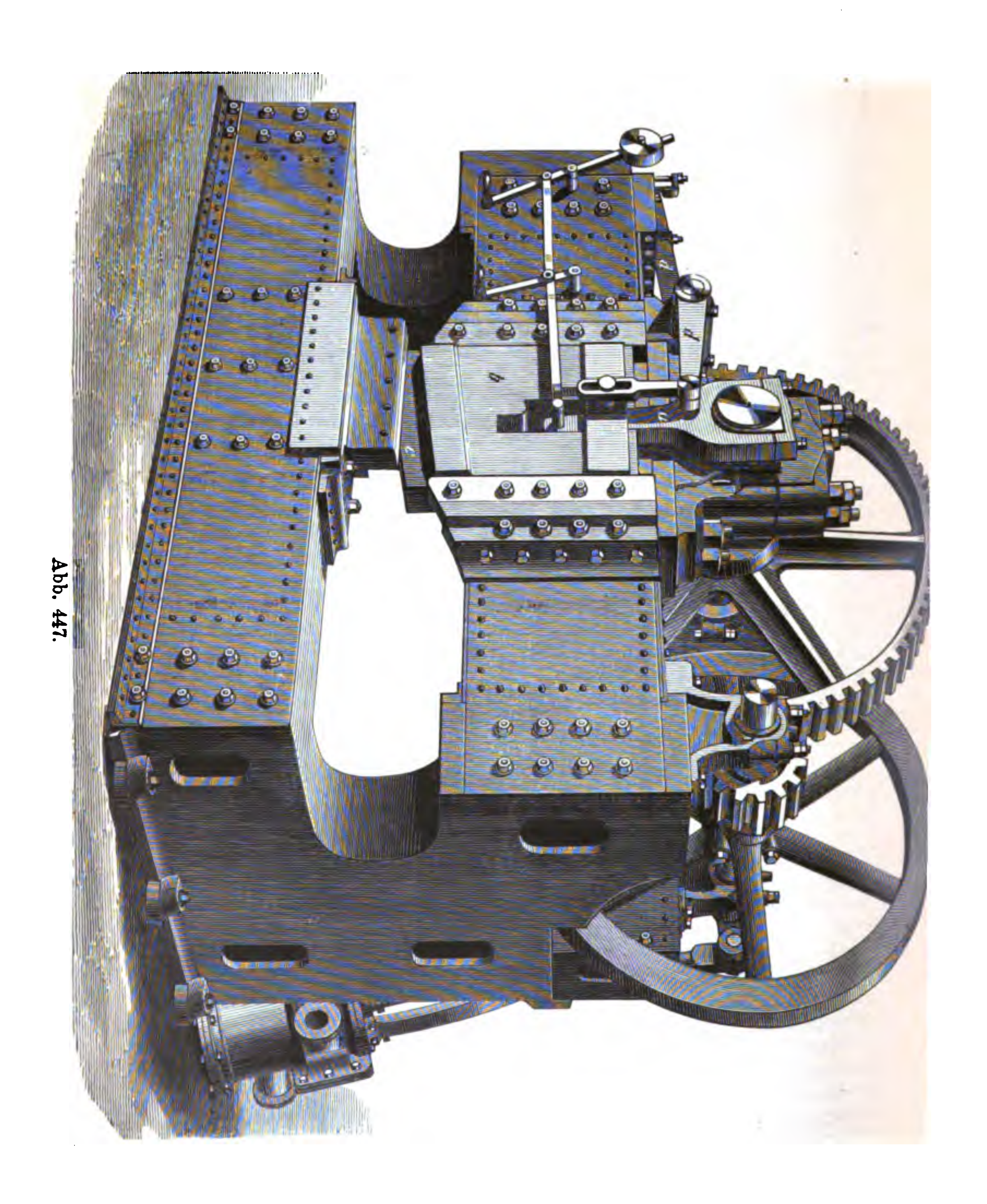


Abb. 447.

auch wenn er in seinem höchsten Stande sich befindet, dadurch beeinflußt wird; man kann also das zu zerteilende Arbeitsstück einschieben und in seine richtige Lage bringen, ohne daß auch bei ununterbrochenem Gange der Maschine ein vorzeitiger Schnitt zu befürchten ist. Drückt man aber die Stange *a* nach links, so setzt sie sich auf die dort im Schlitze angebrachte Erhöhung, der Schieber wird niedergedrückt und der Schnitt erfolgt. Da jedoch die Druckstange den Schieber nur abwärts, nicht auch aufwärts bewegt, so ist eine besondere Vorrichtung erforderlich, um ihn nach beendigtem Schnitte in die Anfangsstellung zurückzuführen. Diesem Zwecke dient der doppelarmige Hebel *dd*. Mit dem einen Ende erfaßt er vermittelst eines Bügels den Schieber, das andere, in der Abbildung nicht sichtbare Ende ist mit einem Gegengewicht belastet. Beim Niedergange des Schiebers steigt das Gegengewicht empor; sobald die Druckstange den Schieber losläßt, wird er durch das Gegengewicht gehoben.

Die Länge der Schneiden der abgebildeten Maschine beträgt 940 mm, der Abstand der beiden hohlen Gußeisenständer, welche die seitliche Begrenzung der Maschine bilden, von einander 3,4 m. Die Form der Ständer ermöglicht leicht ein Vorschieben des Arbeitsstückes in der Schnittrichtung, wenn ihre Breite größer sein sollte als die Länge der Schneiden; im übrigen baut man derartige Scheren mit Schneiden bis zu 3 m Länge[1]).

Parallelscheren mit Bewegung durch Wasserdruck haben in neuerer Zeit häufig sowohl zum Zerteilen der großen, auf dem Blockwalzwerke vorgestreckten Flußeisenblöcke als auch großer Bleche oder sonstiger Arbeitsstücke Verwendung gefunden. Die Abb. 448 auf Seite 458 zeigt die Einrichtung einer solchen von der Firma L. W. Breuer, Schumacher & Co. zu Kalk bei Köln a. Rh. gebauten Schere. *a* ist das bewegliche Scherenblatt, am Kolben eines Wasserdruckzylinders befestigt, welcher von dem Gehäuse *b* umschlossen und deshalb nicht sichtbar ist. *c* ist ein Dampfzylinder, dessen nach oben verlängerte Kolbenstange den mit ihr in einem Stücke gefertigten Kolben des Treibzylinders *d* bewegt. Wird Dampf unter den Kolben des Zylinders *c* geleitet, so wird die im Treibzylinder *d* befindliche Flüssigkeit durch das Rohr *e* über den Kolben des Druckzylinders in *b* gedrückt, dieser geht abwärts und der Schnitt erfolgt. Zur Aufwärtsbewegung des Scherenblattes nach beendigtem Schnitte dienen die zwei kleinen Dampfzylinder *ff* auf dem Scheitel des Querhauptes, welcher den Druckzylinder trägt. *g* ist der Steuerungszylinder für den großen Dampfzylinder *c* und die beiden Dampfzylinder *ff*. Durch Niederdrücken des unter *g* befindlichen Steuerungshebels wird der Dampfzutritt nach *c* geöffnet, der Dampfkolben steigt, der Druckkolben in *b* sinkt. Dieser bewegt nun einen innerhalb des Querhauptes befindlichen Hebel auf einer wagerechten Welle, welche die Bewegung in entgegengesetztem Sinne auf den Hebel *h* überträgt, so daß dieser aufwärts sich bewegt, wenn der Druckkolben abwärts

---

[1]) Sonstige Abbildungen solcher Scheren für Eisen- und Stahlwerke: „Stahl und Eisen“ 1897, Seite 31 und 108.

geht. *h* ist aber, wie die Abbildung erkennen läßt, mit dem zuvor erwähnten Steuerungshebel verbunden. Demnach wird beim Niedergehen des Druckkolbens, also während des Schnittes, der Dampf in *c* allmählich abgesperrt, so daß er nur noch durch Expansion arbeitet; bei Vollendung des Schnittes ist dem Dampfe Auslaß eröffnet und der Zulaß unter die Kolben der beiden Zylinder *ff* frei gemacht. Diese bewegen sich aufwärts und ziehen das Scherenblatt *a*, mit dem ihre Kolbenstangen verbunden sind, nach; mit dem Scherenblatte geht auch der Druckkolben empor, das Druck-

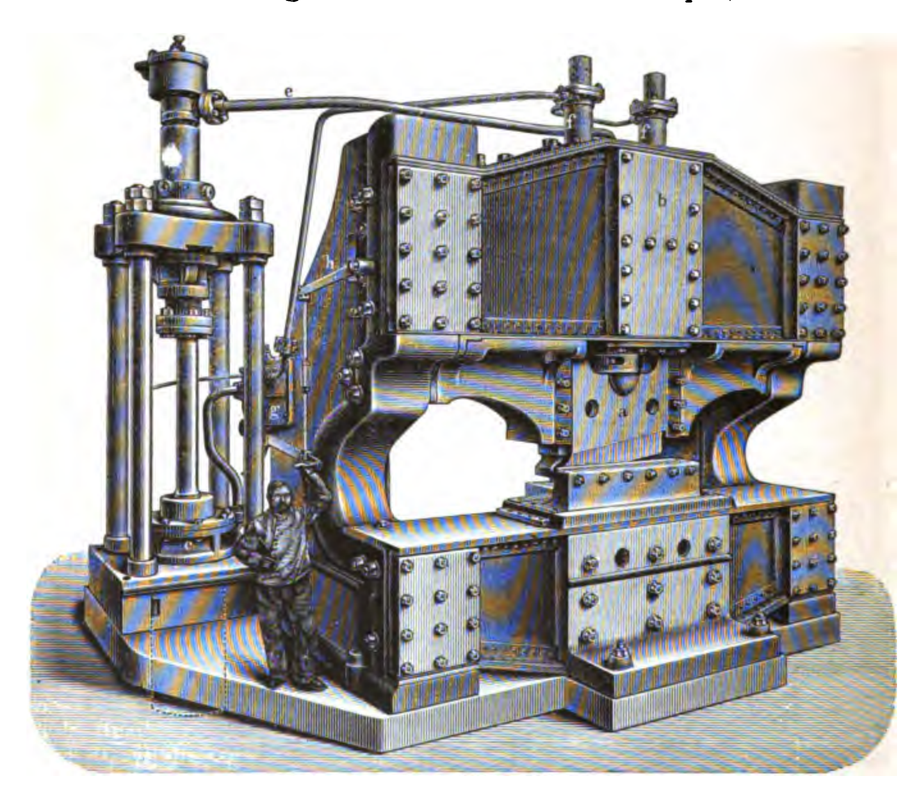


Abb. 448.

wasser wird nach *d* zurückgedrückt, und der Dampfkolben in *c* geht abwärts.

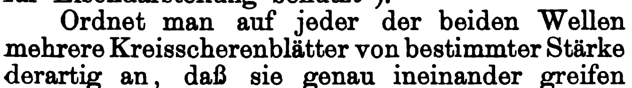
Für manche Zwecke, z. B. zum Durchteilen vorgewalzter Flußeisenblöcke, kommen auch Wasserdruckscheren mit wagerechter Bewegung des Scherenblatts, also senkrechter Stellung der Schneidkanten, zur Anwendung. Die Schere ist in diesem Falle so angeordnet, daß das auf dem Rollgange ankommende Arbeitsstück unmittelbar vor die Schneiden geführt wird, ohne des Anhebens zu bedürfen [1]).

[1]) Sonstige Abbildungen von Scheren mit Wasserdruckbewegung: „Stahl und Eisen“ 1884, Seite 725; 1892, Seite 158; 1894, Seite 207; 1897, Seite 108.

d) Kreisscheren.

Zwei kreisrunde Scherenblätter, deren Schneidkanten nur wenig übereinander greifen, werden mit großer Geschwindigkeit um ihre Achsen in entgegengesetzter Richtung durch Vermittelung von Getrieben gedreht. Das vor die Schneiden gebrachte Arbeitsstück wird demnach von ihnen erfaßt und — ähnlich wie beim Walzen — während des Schneidens selbsttätig vorwärts bewegt. Da die Schneiden endlos sind, ist auch die Länge des Schnitts unbegrenzt, und hierin liegt ein Hauptvorzug der Kreisscheren; aber der Durchmesser der Scherenblätter muß, damit das Arbeitsstück ergriffen werde, mindestens fünfzigmal so groß sein als die Stärke des letzteren, und aus diesem Grunde eignen sich diese Maschinen nur zum Zerteilen dünner Arbeitsstücke (Schwarzbleche). Sie werden häufiger in den Werkstätten für Metallverarbeitung als für Eisendarstellung benutzt[1]).


Abb. 449.


Ordnet man auf jeder der beiden Wellen mehrere Kreisscherenblätter von bestimmter Stärke derartig an, daß sie genau ineinander greifen (Abb. 449), so entsteht ein Eisenschneidwerk oder Eisenspaltwerk, welches früher häufig in den Eisenwalzwerken benutzt wurde, um einen gewalzten, noch glühenden Flachstab bei einem einmaligen Durchgange sofort in zahlreiche schmale Stäbe, gewöhnlich Quadratstäbe, zu zerteilen. Infolge der Vervollkommnung der Walzwerke sind die Spaltwerke jetzt seltener geworden.

e) Kreissägen.

Obwohl die Hebel- und Parallelscheren gut benutzbare Werkzeuge zur Zerteilung von Gegenständen mit einfach gestalteten Querschnitten sind, eignen sie sich doch weniger gut, wenn Erzeugnisse mit gegliederten Querschnitten — Träger, Eisenbahnschienen u. a. m. — zerteilt werden sollen. Diese würden leicht zerdrückt werden, ehe das Abtrennen erfolgt; in keinem Falle würden sich genaue Schnittflächen erzielen lassen.

In solchen Fällen tritt gewöhnlich die Kreissäge an Stelle der Scheren; auch in manchen Fällen, wo die Schere gut brauchbar sein würde, bedient man sich doch nicht selten der Kreissäge, zumal wenn die zu zerteilenden Gegenstände verhältnismäßig dick sind. Mit der Dicke eines Querschnitts wächst bei Benutzung einer Schere der erforderliche Kraftaufwand, bei Benutzung einer Säge nur die erforderliche Zeitdauer; wichtiger noch ist in manchen Fällen der Umstand, daß beim Abscheren die Trennungsfläche um so weniger eben ausfällt, je dicker das Arbeitsstück ist[2]), während beim Sägen kein Unterschied obwaltet. Dagegen besitzt die Säge

[1]) Näheres über Kreisscheren: A. Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Aufl., Seite 536.

[2]) Erklärung hierfür: A. Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Aufl., Seite 398.

den Nachteil, daß durch die Zerspanung ein Metallverlust entsteht, dessen Betrag mit der Dicke des Arbeitsstückes und der Dicke des Sägeblattes zunimmt.

Die Kreissäge besteht aus einer kreisrunden, am Umfange verzahnten Eisen- oder Stahlscheibe, welche auf einer wagerechten Welle befestigt ist und von dieser rasche Drehung empfängt. Währenddem wird entweder das Arbeitsstück gegen die Säge oder diese gegen das Arbeitsstück allmählich vorgeschoben; auf diese Weise nimmt jeder einzelne Zahn Spänchen von dem Arbeitsstücke ab, und es entsteht eine sich mehr und mehr vertiefende Furche, welche die Abtrennung veranlaßt.

Man unterscheidet Kaltsägen, zur Bearbeitung von Metallen in gewöhnlicher Temperatur bestimmt, und Heißsägen, welche zur Zerteilung der glühenden Arbeitsstücke dienen. In den Walzwerken kommen nur letztere zur Benutzung; das Walzstück wird, unmittelbar nachdem es das letzte Kaliber verlassen hat, der Säge zugeführt. Der Widerstand gegen die Zerteilung und der dafür erforderliche Arbeitsverbrauch ist im heißen Zustande geringer, die Zeitdauer für das Abschneiden kürzer.

Solche Heißsägen haben in der Regel Durchmesser von 1 bis 1,5 m bei 4 bis 6 mm Stärke. Um die Wegnahme starker Späne (durch raschen Vorschub beim Sägen) zu ermöglichen, haben die Zähne eine verhältnismäßig beträchtliche Höhe von der Wurzel zur Spitze (10 bis 25 mm), und ihr Abstand von einander — die Zahnteilung — ist bedeutend (20 bis 30 mm), damit in der Zahnlücke der erforderliche Raum für die entstehenden Späne bleibe. Man gibt diesen Heißsägen 800 bis 1200 Umläufe in der Minute, so daß ihre Umfangsgeschwindigkeit in der Sekunde etwa 60 m beträgt. Eine große Umfangsgeschwindigkeit ist erforderlich, um einer Abkühlung des Arbeitsstückes vorzubeugen; auch liefern erfahrungsmäßig die Sägen bei raschem Gange glattere Schnittflächen als bei geringerer Geschwindigkeit. In dem rascher laufenden Sägeblatte ist eine größere lebendige Kraft angehäuft und die Bewegung ist gleichmäßiger.

Eine für die Benutzung in Walzwerken bestimmte Heißsäge (aus der Fabrik von Otto Froriep in Rheydt) ist in Abb. 450 dargestellt. Auf der Welle des mit einem Schutzdache versehenen Sägeblattes *a* sind zwei Riemenscheiben *b* seitlich vom Sägeblatte angeordnet (von denen in der Abbildung nur die eine sichtbar ist), und diese erhalten durch Vermittelung der im Kopfe des Ständers gelagerten großen Riemenscheiben *cc* von dem Dampfzylinder *d* aus ihren Antrieb. Die Welle des Sägeblatts *a* und der Riemenscheiben *b* ist in einem doppelten Pendel *ee* gelagert, welches an der Welle der Riemenscheiben *cc* hängt und mit den Schenkeln *ff* zusammen einen Kniehebel bildet. Die Bewegung des Pendels, welche den Vorschub des Sägeblatts gegen das davor gelegte Arbeitsstück ermöglicht, erfolgt von dem Dampfzylinder *g* aus. Durch Zuführung von Oberdampf wird die Säge nach rechts, also gegen das Arbeitsstück vorgeschoben; steuert man um und führt Dampf unter den Kolben, so erfolgt Rückgang. Der links vom Zylinder *g* sichtbare Hebel dient für die Bewegung des Steuerungs-

schiebers. Der kleine, mit Wasser oder Glyzerin gefüllte Zylinder *h* hat den Zweck, als Bremse bei der Vor- oder Rückwärtsbewegung des Sägeblatts zu wirken. Geht der Kolben dieses Zylinders ab-

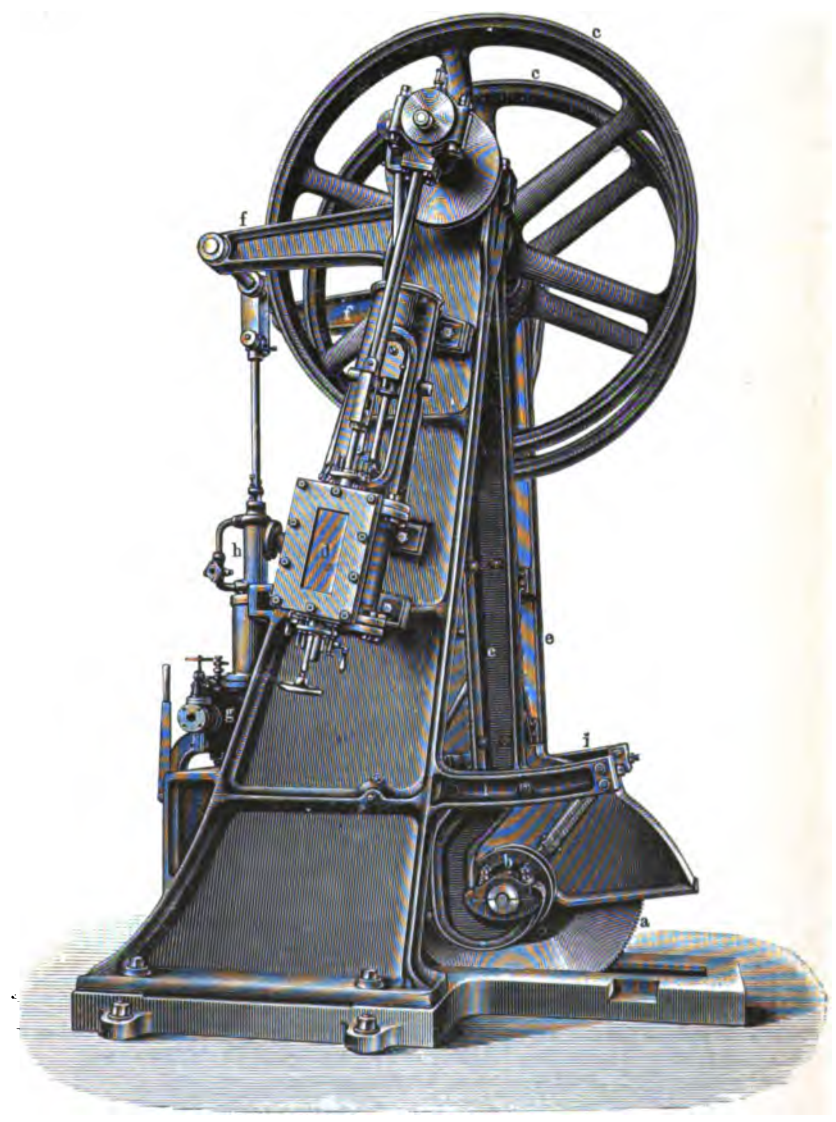


Abb. 450.

wärts (beim Vorschube der Säge), so ist die darunter befindliche Flüssigkeit gezwungen, durch das seitlich angebrachte Rohr über den Kolben zu steigen, und ihre Geschwindigkeit hierbei läßt sich durch Einstellung des im Rohre befindlichen Dreiweghahnes regeln; geht der Kolben aufwärts, so macht die Flüssigkeit den umgekehrten

Weg. Die Schienen *ii* sind Führungen für den Pendel. Das Arbeitsstück wird durch eine auf der Fußplatte der Maschine zu befestigende einfache Vorrichtung festgehalten.

Soll der Vorschub beim Sägen durch das Arbeitsstück ausgeführt werden, so wird dieses auf einem in wagerechten Führungen gleitenden Schlitten (Schieber) gelagert, so daß es rechtwinklig gegen die Ebene des Sägeblatts liegt; mit Hilfe eines Hebels, eines Getriebes mit Zahnstange oder irgend einer anderen einfachen Vorrichtung wird alsdann, sobald das Arbeitsstück auf den Schlitten gelegt worden ist, dieser gegen das Sägeblatt vorgeschoben. Der Fall ist jedoch seltener. Auch Kreissägen, welche den Vorschub in senkrechter statt wagerechter Richtung (von oben nach unten) ausführen, kommen zur Anwendung.

Kaltsägen finden, wie andere Werkzeugmaschinen, zum Nacharbeiten von Schienen und anderen Erzeugnissen der Eisenwerke bisweilen Benutzung. Ihr Durchmesser ist kleiner, ihre Umfangsgeschwindigkeit bedeutend geringer als die der Heißsägen (höchstens 0,8 m in einer Sekunde). Ihre Zahnhöhe beträgt nicht über 7 mm, ihre Zahnteilung nicht über 10 mm[1]).

Literatur.

a) Einzelne Werke.

S. Jordan, Album du cours de métallurgie. Paris 1875. Pl. 78 bis 83 (Schweiß- und Glühöfen), Pl. 105 und 118 (Scheren), Pl. 108 (Kreissägen), Pl. 111 (Glühöfen für Bleche).

E. F. Dürre, Anlage und Betrieb der Eisenhütten. 3. Band, Leipzig 1892, Seite 690—718 (Schweiß- und Wärmöfen), 797—807 (Scheren und Sägen).

b) Abhandlungen.

Über Schweißöfen, Wärmöfen, Ausgleichgruben.

Zusammenstellung der Betriebsverhältnisse von Puddel- und Schweißöfen. Von dem technischen Verein für Eisenhüttenwesen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1872, Seite 673.

C. W. Bildt, Zwei Schweißofenkonstruktionen. „Stahl und Eisen" 1891, Seite 558.

Schweißofen mit Schwartzkopffscher Kohlenstaubfeuerung. Berg- und hüttenm. Zeitung 1896, Seite 24.

Lantz, Über die Fortschritte in den Walzwerkseinrichtungen (Schweißöfen u. a.). „Stahl und Eisen" 1898, Seite 979.

H. W. Hollis, On the Weardale furnace. The Journal of the Iron and Steel Institute 1897 I, Seite 56; auch „Stahl und Eisen" 1897, Seite 582.

J. Gjers, Über das Walzen von Stahlgußblöcken mit ihrer eigenen Hitze vermittelst der Anwendung der Durchweichungsgrube. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 496; 1884, Seite 494.

Zu Gjers Durchweichungsgruben. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 551.

R. M. Daelen, Über das Gjerssche Ausgleichverfahren. „Stahl und Eisen" 1896, Seite 61.

Über Anfertigung von Handelseisen, Eisenbahnschienen, Trägern, Walzdraht u. a.

Vergleichsweise Dauer der Eisen- und Stahlschienen. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen 1883, Seite 225.

Vergleich von Eisenbahnschienen aus Stahl mit solchen aus Eisen. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 488.

---

[1]) Näheres: A. Ledebur, Lehrbuch der mechanisch-metallurgischen Technologie, 3. Aufl., Seite 522.

G. J. Snelus, Über die chemische Zusammensetzung und die Prüfung der Stahlschienen. „Stahl und Eisen" 1883, Seite 82 und 171.
Escalle, Über Abnutzung der Stahlschienen. Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen, Band 14, Seite 149.
L. Tetmajer, Zur Frage der Qualitätsbestimmung von Flußstahlschienen. „Stahl und Eisen" 1884, Seite 608.
C. P. Sandberg, On the danger of using too hard steel rails. The Journal of the Iron and Steel Institute 1898 II, Seite 76; auch „Stahl und Eisen" 1898, Seite 897.
C. P. Sandberg, Über die Lieferungs- und Abnahmebedingungen von Schienen in Europa. Beilage zu „Stahl und Eisen" 1882, Heft 1.
H. Wedding, Über die Bedingungen der deutschen Eisenbahnverwaltungen für die Lieferungen von Schienen, Radreifen und Achsen aus Flußeisen vom Standpunkte der Fabrikation. Glasers Annalen, Band 10, Seite 63, 149, 154.
Wöhler, Diskussion zu dem Vortrage von H. Wedding über die Bedingungen der deutschen Eisenbahnverwaltungen für die Lieferung von Schienen usw. Glasers Annalen, Band 10, Seite 137, 153, 158.
R. v. Dormus, Studien und Betrachtungen über Ungleichmäßigkeitserscheinungen des Stahlschienenmaterials. Zeitschr. des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1896, Seite 191, 205, 221 (auch als Sonderabdruck erschienen).
R. v. Dormus, Weitere Studien über Schienenstahl. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1898, Seite 635, 648, 665, 678, 697 (auch als Sonderabdruck erschienen).
L. Tetmajer, Metamorphosen der basischen Schienenstahlbereitung und des Prüfungsverfahrens der Stahlschienen. Schweizerische Bauzeitung 1896, Seite 130, 140, 147, 153, 171 (auch als Sonderabdruck erschienen).
L. Tetmajer, Über das Verhalten der Thomasstahlschienen im Betriebe. Zürich 1894.
A. Haarmann, Der Bessemerstahl und der Thomasstahl in ihrer Bedeutung als Schienenmaterial. Osnabrück 1894.
A. Servaes, Der Thomasstahl in seiner Bedeutung als Schienenmaterial. Laar 1895.
Die Walzwerksanlage zu Differdingen. „Stahl und Eisen" 1903, S. 53.
Neue amerikanische Walzwerke. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 136, 183.
P. Eyermann, Amerikanische Walzwerksanlagen. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 730.
P. Eyermann, Amerikanische Neuerungen in Schienenwalzwerken. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 220, 295.
E. Langheinerich, Amerikanische Eisenhütten und deren Hilfsmittel. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 1097, 1168, 1220, 1294.
Th. J. Vollkommer, Moderne Walzwerksanlagen für Band- und Handelseisen. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 1093, 1198 (aus Iron Age vom 16. Januar 1902).
S. Magery, Le laminage de l'acier Thomas. Revue universelle des mines, Reihe 3, Band 42 (1898), Seite 172.
M. Meier, Die Darstellung der Halbfabrikate, Schienen, Schwellen und Träger. „Stahl und Eisen" 1898, Seite 1017.
Michael Baackes, Die Entwickelung des Drahtwalzwerks mit besonderer Berücksichtigung von Nordamerika. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 66.
W. Hirst, Das Kalibrieren von Drahtwalzen. „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1198 (aus Iron Age vom 10. Mai 1900).

Über Anfertigung von Blechen und Panzerplatten.

Über die Fabrikation von Qualitätsblechen. „Stahl und Eisen" 1885, S. 26.
Alfred Trappen, Das Wittgensteinsche Feinblechwalzwerk. „Stahl und Eisen" 1882, Seite 999.
Blech- und Plattenwalzwerk der Stahlwerke in Longwy. „Stahl und Eisen" 1894, Seite 397.

Blechwalzwerk der Illinois-Stahlgesellschaft. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 185.
Blechwalzwerk der Bethlehem Iron Company. „Stahl und Eisen" 1897, Seite 214.
P. Eyermann, Walzwerksanlagen in Vandergrift (Platinen- und Feinblechwalzwerk). „Stahl und Eisen" 1900, Seite 1048.
F. Eyermann, Das Universalblechwalzwerk der Carnegie Company in Homestead. „Stahl und Eisen" 1901, Seite 123 (nach Iron Age).
H. Illies, Neue Blechwalzwerksanlagen der Carnegie Steel Co. in Homestead. „Stahl und Eisen" 1902, Seite 146.
Brix, Über den jetzigen Stand der Panzerplattenfabrikation. Glasers Annalen, Band 10, Seite 13.
J. Brink, Über Eisen- und Compound-Panzerplatten. „Stahl und Eisen" 1885, Seite 62, 131, 184.
F. Lynwood Garrison, The development of American armour-plate. Iron, Band 40, Seite 28.
F. Kupelwieser, Über Panzerplatten und deren Erzeugung. Zeitschrift des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereins 1894, Seite 237; auszugsweise in „Stahl und Eisen" 1894, Seite 552.
S. Castner, Zur Panzerplattenfrage. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 12.
S. Castner, Über die Herstellung von Panzerplatten. „Stahl und Eisen" 1895, Seite 793 und 841.
The manufacture of armour plates at Vickers' Works. Engineering, Band 64, Seite 555, 584, 607.
J. Hübers, Über Bau und Betrieb einer Feinstraße. „Stahl und Eisen " 1903, Seite 174.
J. Hübers, Über Bau und Betrieb einer kombinierten Grob- und Universalstraße. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 176.
W. Garrett, Über den Stahltrust und die unabhängigen Walzwerke. Aus The Iron Trade Review 1903, Seite 83, in „Stahl und Eisen" 1903, Seite 548
A. Haarmann, Das Eisen in der Eisenbahn nach Zusammensetzung, Form und Masse. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 727.
Duisburger Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft, Neuere Ausführungen von Hebezeugen für Hüttenwerke. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1065, 1378.
Th. Stapf, Über Gasschweiß- und Wärmöfen. „Stahl und Eisen" 1903, Seite 1378.
A. Ruhfus, Das neue Blechwalzwerk der Charlottenhütte. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 622.
Elektrisch betriebene Block- und Einsetzmaschine. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 642.
Blockeinsetzmaschinen. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1044.
Blockkrane. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1174.
Tiefofenkrane zur Bedienung der Gjersschen Gruben. „Stahl und Eisen" 1904, Seite 1110.
Hübers Vorschläge zur Modernisierung veralteter Walzwerksanlagen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 22.
A. Röck, Vorschläge zur Modernisierung veralteter Walzwerksanlagen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 252.
Neue Stahl- und Walzwerksanlagen der Illinois Steel Company in South-Chicago. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 397 aus Iron Trade Review 1905, Seite 56.
Bruno Quast, Einiges über Warmlegen und Adjustagen schwerer Profileisenstraßen. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 925.
Das Schienenwalzwerk der Republic Iron and Steel Company, Youngstown. „Stahl und Eisen" 1905, Seite 1425 aus The Iron Age 1905, Seite 1207.
Die Blechwalzwerks-Anlage der Central Iron and Steel Company, Harrisburg. „Stahl und Eisen" 1906, S. 195 aus The Iron Age 1906.
Die große Drahtstraße der Aktien-Gesellschaft Phönix zu Hamm. „Stahl und Eisen" 1906, Seite 254.

Piererache Hofbuchdruckerei Stephan Geibel & Co. in Altenburg.

Sachverzeichnis.

A.

Ablöschen, Einfluß auf schmiedb. Eisen 52.
„ „ „ das Gefüge 7.
„ „ „ die Festigkeit 52.
Abnahmekoeffizient bei Kalibern 150.
Abschrot 112.
Abschütten des Stahls 83.
Abstreifmeißel 150.
Abstreifplatte 150.
Adjustiren 448.
Ätzprobe 84.
Alligatorquetsche 166.
Aluminium, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 16.
„ „ „ „ Schweißbarkeit 21.
„ „ „ „ Festigkeit 42.
„ Zusatz von — beim Flußeisen 235.
Amboß 98.
Anlassen des Stahls 29.
„ Einfluß auf das Gefüge 7.
„ „ „ die Festigkeit 58.
Anlaßhärte 29.
Anlauffarben 29.
Antimon, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 13.
„ „ „ „ Schweißbarkeit 19.
Arsen, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 13.
„ „ „ „ Schweißbarkeit 19.
„ „ „ „ Festigkeit 46.
Aufwerfhammer 99.
Ausgleichgruben 433.
Ausglühen, Einfluß auf die Festigkeit 56.

B.

Basische Verfahren, siehe Thomasverfahren, Martinverfahren.
Bauwerkeisen, Darstellung 441.
Beizbrüchigkeit 64.
Bertrand-Thiels Martinverfahren 361.
Bessemerhütten 302.
Bessemermetall 339.
Bessemerschlacke 329, 341.
Bessemerverfahren 282, siehe auch Windfrischen.
Birne (für das Windfrischen) 291.
„ Abmessungen der — 298.
„ Ausfutterung der — 300.
Blaubrüchigkeit 9.
Bleche, Darstellung 448.
Blechwalzwerke 132, 134.
Blindkaliber 159.
Blockwalzwerke 132, 142.
Boden (bei Frischfeuern) 187.
Bramme 449.
Braunstein beim Tiegelstahlschmelzen 270, 278.
Brechkapsel bei Walzwerken 128.
Bulls Verfahren der Eisendarstellung 259.

C.

Campbells Schaukelofen 353.
Carbid, Carbidkohle, siehe Karbid, Karbidkohle.
Carborund 235.
Cementstahl, siehe Zementstahl.
Chabotte, siehe Schabotte.
Chamotte, siehe Schamott.
Chenots Verfahren 184.
Chlorcalcium als Entschweflungsmittel 364.
Chrom, Einfluß auf die Härte 25.
„ „ „ „ Festigkeit 41.
„ „ „ „ Schmiedbarkeit 15.
„ „ „ „ Schweißbarkeit 21.
Chromstahl 25.
Coaks, Cokes, siehe Koks.
Compoundpanzerplatten 451.
Converter, siehe Birne.
Cort, Henry 196.

D.

Daelens Universalwalzwerk 161.
Damaststahl 273.
Dampfhämmer 103.
Danks Puddelofen 197.
Darbys Kohlungsverfahren 290.
Dehnbarkeit 8.
Deul 173.
Dichte Güsse 233.
Doppel-Duowalzwerk 120.
Doppelpuddelöfen 190, 204.
Doppelt geschweißtes Eisen 417.
Drehöfen zum Puddeln 197.
„ „ Martinschmelzen 352.
Dreiwalzwerke 119.
Druckschraube bei Walzwerken 128.
Düdelinger Kohlungsverfahren 290.
Dumény und Lemuts Puddelmaschine 214.

Duowalzwerke 119.
Durchschlag 112.
Durchweichungsgruben, siehe Ausgleichgruben.
Düsen der Bessemer- und Thomasbirnen 296.

E.

Eisenbahnschienen, Darstellung 442.
" Kaliber 157.
Eisenmangan, als Zusatz bei der Flußeisenerzeugung 234.
Eisenoxydul im Eisen 12, 288.
Eisenschneidwerk 459.
Eisenschwamm 174, 184.
Eisenspaltwerk 459.
Elastizität 33.
Elektrische Eisendarstellung 259.
Entlastung der Walzen 133.
Entphosphorung, Entschweflung, siehe Phosphor, Schwefel.
Erdmannscher Walzenständer 130.
Erschütterungen, Einfluß auf die Festigkeit des schmiedbaren Eisens 67.

F.

Faulbruch 10.
Feinbleche, Darstellung 449.
Feineisen, " 440.
Feren der Bessemer- und Thomasbirnen 296.
Ferromangan, siehe Eisenmangan.
Ferrosilicium, siehe Siliciumeisen.
Fertigwalzen 151.
Festigkeitseigenschaften des schmiedbaren Eisens 32; Einfluß der chemischen Zusammensetzung 36; der mechanischen Bearbeitung 47; des Ablöschens (Härtens) 52; des Ausglühens 56; Beizbrüchigkeit 64; der Form und Größe des Querschnitts 65; wiederholter Erschütterungen 67; der Temperatur 68.
" Prüfung der — 76.
Feuer, siehe Frischfeuer, Rennfeuer, Schweißfeuer.
Finne des Hammers 111.
Flammöfen, siehe Boëtiusofen, Bicherouxofen, Siemensofen, Puddelofen, Martinofen, Schweißofen, Wärmeofen.
Flammofenfrischen, siehe Puddeln.
Flußeisen, Begriff 3.
" allgemeine Eigenschaften, siehe Schmiedbares Eisen.
" Eigentümlichkeiten des —s 225.
" Darstellung 225.
" " aus Erzen 258.
" Hohlräume im — 225.
" Verarbeitung des —s 425.
" Literatur 375.
Flußspat als Zuschlag 215.
Flußstahl, siehe Tiegelstahl, Bessemermetall, Thomasmetall, Martinmetall.
Formgußdarstellung 253, 274, 281.
Frischfeuer 187.
Frischfeuerbetrieb 185.
" chemischer Verlauf 191.
Frischfeuereisen 3, 194.
Frischfeuerschlacken 194.
Frischverfahren, deutsches — 189.
Frosch 101.

G.

Gargang beim Frischen 194.
Garschlacken vom Frischen 194.
Ganister 300.
Gärbstahl 413.
Gasblasen im Eisen 227.
Gase beim Windfrischen 334.
Gebläse zum Windfrischen 309.
Gefüge des schmiedbaren Eisens 4.
Einfluß der chemischen Zusammensetzung auf das — 5.
" " " mechanischen Bearbeitung auf das —6.
" " " Erhitzung und Abkühlung auf das — 6.
Gesenke 112.
Gewichtsausgleichung bei Walzwerken 132.
Gießkrane 247.
Gießpfanne für Flußeisen 247.
Gießwagen 250.
Glashärte 28.
Glühen, Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften 56.
" " auf das Gefüge 6.
Glühfrischen 386.
Glühstahl 387.
Grobbleche, Darstellung 449.
Grobeisen, Darstellung 439.
Guß, schmiedbarer 386.
Gußblöcke 255.
Gußformen 252.
Gußstahl 259.
Güteziffer 34.

H.

Hämmer 96.
Hammerbär 103.
Hammerhelm 99.
Hammerstock 98.
Handpuddeln 207.
Harmets Verfahren zum Verdichten von Stahlblöcken 245.
Härte des schmiedbaren Eisens 24.
" Einfluß der mechanischen Bearbeitung auf die — 32.
Härtbarkeit 24.
Härten des Stahls 27; Einfluß auf die Festigkeit 52; auf das Gefüge 7.
Hartkörner 74.
Hartstahl 25.

Härtung, doppelte — 62.
„ negative — 63.
Härtungshärte 28.
Härtungsprobe 82.
Harveyverfahren 408, 451.
Hebelscheren 453.
Heißsägen 460.
Herdfrischen 185.
Herdeisen bei Puddelöfen 200.
Holleyscher Losboden 294.
Holzkohleneisen 3, 187.
Huntsman, Benjamin 261.
Hydraulische Aufzüge, siehe Wasserdruckaufzüge.

K.

Kaliber 121.
Kaliberdruck 152.
Kalibriren der Walzen 150.
Kaltbiegeprobe 79.
Kaltsägen 460.
Kammwalzen 125, 146.
Kammwalzenständer 146.
Kappenständer (für Walzwerke) 130.
Kehrwalzwerke 120.
Kleinbessemerei 288.
„ Birnen dafür 297.
Knüppel 416.
Kohlenstoff, Einfluß auf das Gefüge des schmiedbaren Eisens 5.
„ Einfluß auf die Schmiedbarkeit 10.
„ „ „ „ Schweißbarkeit 17.
„ „ „ „ Härte 24.
„ „ „ „ Festigkeitseigenschaften 36.
Kohlung des Flußeisens 290.
Kopf, verlorener 236.
Kreissägen 459.
Kreisscheren 459.
Kupfer, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 13.
„ „ „ „ Schweißbarkeit 20.
„ „ „ „ Festigkeit 45.
Kupolöfen, Flußeisendarstellung in — 260.
Kuppelungen bei Walzwerken 125, 145.
Kuppelungsmuffen 125, 146.
Kuppelungsspindeln 125, 145.

L.

Lancashirefener 187.
Lauthsches Walzwerk 135.
Legeeisen bei Puddelöfen 200.
Literatur über Einteilung, Eigenschaften und Prüfung des schmiedbaren Eisens 89; über die Maschinen für die Veredelung und Formgebung 167; über Darstellung des Schweißeisens 222; des Flußeisens 375; über Glühfrischen 400; über Zementstahldarstellung 413; über Weiterverarbeitung des schmiedbaren Eisens 462.
Lochen, Einfluß auf die Festigkeit 51.
Lochring 112.
Lungern, Lunkern 226.
Luppe 166, 172.
Luppenmühlen 166.
Luppenquetschen 166.
Luppenwalzwerk 124, 212.

M.

Mangan, Einfluß auf die Härte 24; auf die Festigkeit 38; auf das Gefüge 5; auf die Schmiedbarkeit 14; auf die Schweißbarkeit 20.
„ Rolle beim Frischfeuerbetriebe 191; beim Puddeln 208; beim Windfrischen 311, 328; beim Martinschmelzen 356; beim Glühfrischen 389.
„ Zusatz bei der Flußeisendarstellung 234.
Manganstahl 24.
Martinhütten, Einrichtung 353.
Martinofen 345.
Martinmetall 375.
Martinverfahren, Allgemeines 343; Arbeitsverfahren 355; Abarten des Verfahrens 360; chemischer Verlauf 362; Betriebsergebnisse 371.
Maschinenpuddeln 213.
Mitisguß 236, 261, 269.

N.

Nickel, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 15; auf die Schweißbarkeit 21; auf die Härte 26; auf die Festigkeit 39.
Nickelstahl 26.

O.

Oberdruck 150.
Oberflächenhärtung 407.
Oestlunds Puddelofen 197.
Ovalkaliber 155.

P.

Paket 416.
Paketzieher 423.
Panzerplatten, Darstellung 451.
Parallelscheren 455.
Pernotofen 353.
Phosphor, Einfluß auf die Festigkeitseigenschaften 43; auf das Gefüge des schmiedbaren Eisens 5; auf die Schmiedbarkeit 11; auf die Schweißbarkeit 18.
„ Verhalten beim Windfrischen 312.
„ „ „ Martinschmelzen 356.
Piétzkas Puddelofen 207.
Plattinen 450.
Pneumatischer Aufzug, siehe Luftdruckaufzug.
Prellung 99.
Pressen 113.
Prüfung des schmiedbaren Eisens 76.
Prügel 416.
Puddeleisen 3.

Puddeln 195.
„ Arbeitsverfahren 207; chemischer Verlauf 215; Betriebsergebnisse 220; Erzeugnisse 222; Puddelmaschinen 196, 213; Zuschläge beim Puddeln 215.
Puddelofen 198.
Puddelschlacken 219, 222.
Puddelstahl, Geschichtliches 196, Darstellung 211, 222.

Q.

Quadrateisenkaliber 156.
Qualitätsziffer (Güteziffer) 34.

R.

Regenerativfeuerung, s. Siemensfeuerung.
Regeneratoren, siehe Wärmespeicher.
Reitel 99.
Rennfeuer 174, 175.
Rennfeuerschlacken 177.
Reversierwalzwerke, siehe Kehrwalzwerke.
Riemers Verfahren zur Beheizung des Blockkopfs 237.
Rohgang beim Frischen 191.
Rohschienen 212, 416.
Rohschienenwalzwerk 124, 212.
Rohschlacken beim Frischen 194.
Rollbahnen für Walzwerke 144.
Rollentische „ „ 139.
Rollöfen 429.
Rotbruch 10.
Rundeisenkaliber 157.

S.

Saigerung des Flußeisens 229.
Saniters Martinverfahren 364.
Sauerstoff, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 12; auf die Schweißbarkeit 19.
Saugen der flüssigen Metalle 226.
Schabotte 98.
Schafhäutls Puddelmaschine 213.
Schaukelöfen zum Martinschmelzen 352.
Scheren 453, 455, 459.
Scheiblers Thomasverfahren 341.
Schienen, siehe Eisenbahnschienen.
Schlacken, Analysen, s. Hochofenschlacken, Rennfeuerschlacken usf.
Schlagprobe 80.
Schleppwalzen 121.
Schlichten 111.
Schmelzöfen für Tiegelstahldarstellung 265.
Schmelztemperatur des schmiedbaren Eisens 8.
Schmiedbarer Guß 386; Eigenschaften 399.
Schmiedbares Eisen, Begriff 3.
„ „ Eigenschaften 3.
„ „ Gefüge 4.
„ „ Schmelztemperatur 7.
„ „ Schmiedbarkeit 8.
„ „ Schweißbarkeit 16.
Schmiedbarkeit, Allgemeines 8.
„ Einfluß der Temperatur 8; der chemischen Zusammensetzung 10.
Schmiedeeisen, Begriff 3.
Schmieden, Arbeit des —s 110.
Schmiedepresse 115.
Schmiedeprobe 78.
Schnelldrehstahl 25.
Schnellhämmer 105.
Schrotmeißel 112.
Schrumpfmaß beim Walzen 154.
Schwalarbeit 189.
Schwanzhammer 101.
Schwarzbleche 450.
Schwefel, Verhalten beim Windfrischen 311.
„ Verhalten beim Martinschmelzen 357.
Schwefelgehalt, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 11; auf die Schweißbarkeit 19; auf die Festigkeit 46.
Schweißbarkeit 16; Einfluß der chemischen Zusammensetzung 17; Anwendung 22.
Schweißeisen, Begriff 3.
„ Darstellung aus Erzen 173.
„ mechanische Verarbeitung 415.
„ Schlackengehalt des —s 172.
Schweißfeuer 418.
Schweißöfen 419.
Schweißofenschlacke 425.
Schweißpulver 21.
Schweißstellen, Festigkeit 23.
Schwindmaß beim Walzen 154.
„ „ Gießen 227.
Schwindung beim Gießen 225.
Schwungrad bei Walzwerken 149.
Sehnebildung beim schmiedbaren Eisen 4.
Siemens' Schweißeisendarstellung aus Erzen 183.
Siemens-Martinverfahren, s. Martinverfahren.
Silicium, Einfluß auf die Festigkeit 38; auf die Schmiedbarkeit 11; auf die Schweißbarkeit 17; auf die Härte 24.
„ Rolle beim Frischfeuerbetrieb 191.
„ Verhalten beim Windfrischen 286.
„ „ „ Martinschmelzen 356.
„ „ „ Glühfrischen 389.
„ „ „ Zementieren 412.
„ Zusatz zum Flußeisen 235.
Sohlplatte für Walzwerke 149.
Spezifisches Gewicht des schmiedbaren Eisens 31.
Spiegeleisen, Zusatz bei der Flußeisendarstellung 289.
Spitzbogenkaliber 156, 158.
Spratzen des Flußeisens 228.
Springers Puddelofen 206.
Staffelwalzen 161.
Stahl, Begriff 3.
„ Darstellung in Frischfeuern 189.
„ „ im Puddelofen 211.
„ Härten und Anlassen des —s 28.

Stahl, Kohlenstoffgehalt für verschiedene Zwecke 30.
„ siehe auch Flußstahl, Schweißstahl, Tiegelstahl, Bessemermetall, Thomasmetall, Martinmetall, Zementstahl, Gärbstahl.
Stauchen 79, 111.
Stauchkaliber 157.
Stauchprobe 79.
Steigender Guß 242.
Stielhämmer 99.
Stirnhämmer 103.
Strecken 111.
Stück 173.
Stückofen 174, 178.
„ Betrieb 178.
Stückofenschlacken 182.
Sturzbleche 450.

T.

Talbotofen 353.
Talbots Martinverfahren 362.
Tatara 181.
Tempern 386.
Temperöfen 391.
Temperstahl 387.
Thomashütten 302.
Thomasmetall 339.
Thomasschlacken 329, 341.
Thomasverfahren 282; siehe auch Windfrischen.
Tieföfen 436.
Tiegel, Anfertigung 262.
Tiegelstahl 280.
„ Darstellung 260.
Tiegelstahlschmelzen 269.
„ chemischer Verlauf des —s 274.
Treiben (beim Schmieden) 111.
Triowalzwerk 119.

U.

Überhebvorrichtungen b. Walzwerken 139.
Überhitzter Stahl 74.
Uchatiusstahl 273.
Universalwalzwerke 161.
Unterbau für Walzwerke 149.
Unterwind für Puddelöfen 202.

V.

Verbrennen des Eisens 73.
Verbund-Panzerplatten 451.
Verlorener Kopf 236.
Vorwalzen 151.
Vorwärmherd bei Puddelöfen 202.

W.

Wallonenfrischen 189.
Walzdraht 440.
Walzen, Vorgänge beim — 119.
„ Form der — 126.
„ Arbeitsverbrauch beim — 164.
Walzenkalibrierung 150.
Walzenständer 128.
Walzenzugsmaschine 164.
Walzgerüst 123.
Walzlinie 151.
Walzstrecke 123.
Walztische 139.
Walzwerke für Eisenbearbeitung 119, 123.
Walzwerksgetriebe 146.
Walzwerkskuppelungen 145.
Walzwerksschwungrad 149.
Wärmebilanz bei Martinöfen 373.
Wärmöfen 426.
Wasserdruckpresse 115.
Wasserkühlungen, siehe Kühlungen.
Weißbleche 450.
Wellmanns Martinofen 353.
Winderhitzung bei Frischfeuern 190.
Windformen bei den Birnen zum Windfrischen 296.
Windfrischen 282.
„ Wärmeentwicklung beim — 285.
„ Desoxydation und Kohlung beim — 288.
„ Birne zum — 290.
„ Arbeitsverfahren beim — 310.
„ Chemischer Verlauf 320.
„ Betriebsergebnisse 337.
„ Erzeugnisse 339.
Winkeleisen, Darstellung 442.
Wippe 140.
Wittgensteins Feinblechwalzwerk 450.
Wolf 172.
Wolfram, Einfluß auf das Gefüge des schmiedbaren Eisens 5; auf die Schmiedbarkeit 15; auf die Schweißbarkeit 21; auf die Festigkeit 42.
Wolframstahl 25.
Wootzstahl 273.
Würtenbergers Martinverfahren 360.

Z.

Zacken (bei Frischfeuern) 187.
Zähigkeit des schmiedbaren Eisens 33.
Zängen der Luppen 173, 212.
Zementieren 408.
Zementkohle, siehe Karbidkohle.
Zementstahl, Darstellung 401; Eigenschaften 412.
Zerreißprobe 81.
Zinn, Einfluß auf die Schmiedbarkeit 14; auf die Schweißbarkeit 20.
Zweiwalzwerke 119.

Druckfehlerberichtigung:

Band I, Seite 46, letzte Zeile statt „Kohlenoxydbildung“ lies „Kohlendioxydbildung“.

VERLAG VON ARTHUR FELIX IN LEIPZIG.

Die Erzlagerstätten.

Unter Zugrundelegung

der von

Alfred Wilhelm Stelzner hinterlassenen Vorlesungsmanuskripte und Aufzeichnungen

bearbeitet von

Dr. Alfred Bergeat,

Professor der Mineralogie und Geologie an der kgl. preufs. Bergakademie zu Clausthal i. Harz.

Mit 254 Abbildungen, einer Karte und 4 Tafeln.

1904/6. 85 Bogen. Broschiert M. 46.—. Gebunden in 2 eleganten Halbfranzbänden M. 51.60.

Inhaltsübersicht.

Seite

Einführung . . . . . 1—8
Literatur . . . . . 6—8

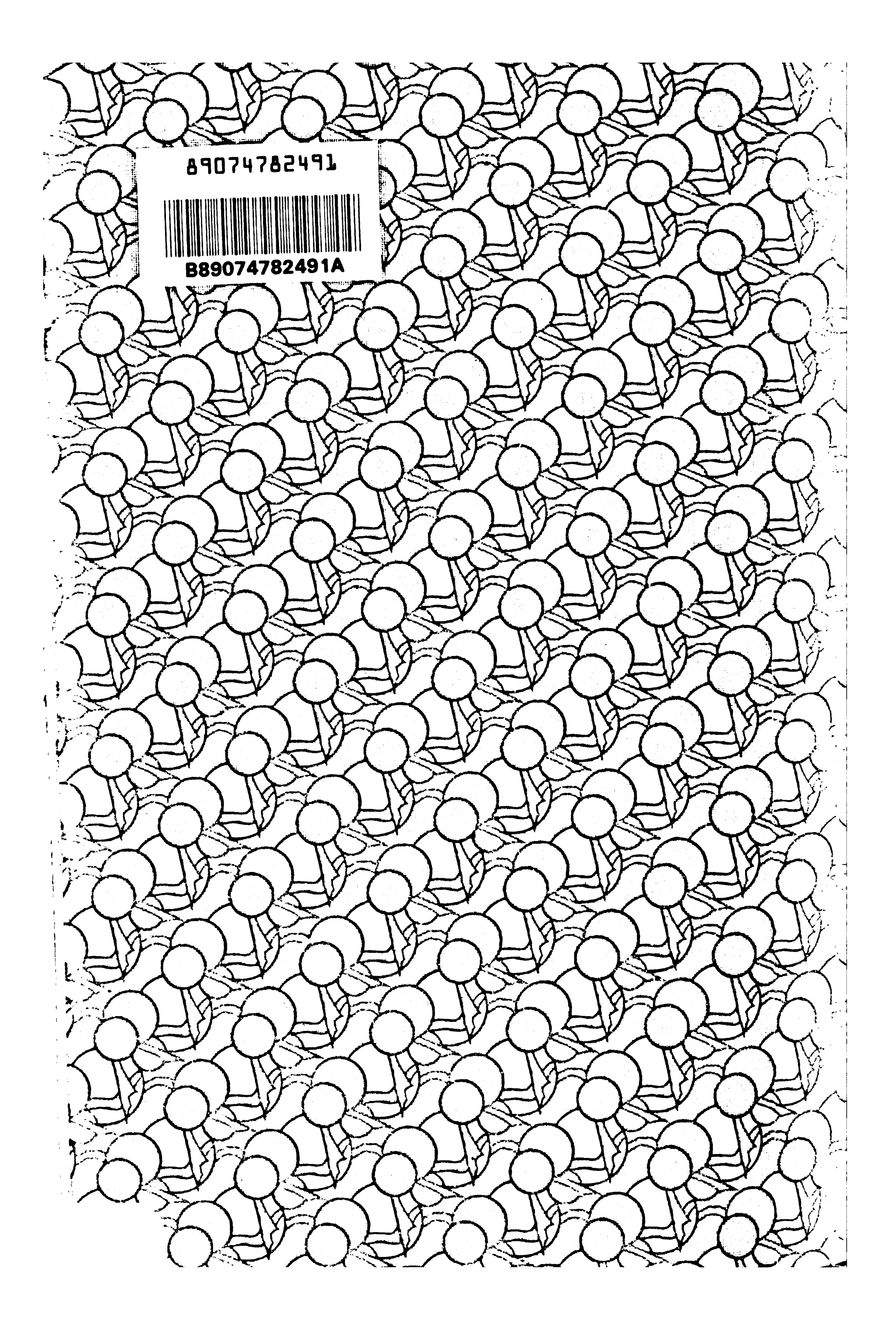
Gesichtspunkte für die systematische Behandlung und Umgrenzung des Stoffes . . 9—14

Systematische Übersicht der Erzlagerstätten . . . . . 15—19

I. Protogene Lagerstätten . . . . . 19—1239
1. Die eruptiven Lagerstätten . . . . . 19—85
I. Eruptive Lagerstätten oxydischer Erze . . . . . 22—40
II. Eruptive Lagerstätten sulfidischer Erze . . . . . 40—63
III. Gediegene Metalle als primäre Ausscheidungen in Eruptivgesteinen . . . . 64—71
IV. Ausscheidungen von Halogenverbindungen und Sauerstoffsalzen in Eruptivgesteinen . . . . . 71—72
Anhang: Diamanten in Peridotit . . . . . 72—84
Rückblick auf die eruptiven Lagerstätten . . . . . 84—85
2. Die schichtigen Lagerstätten . . . . . 85—470
Allgemeines . . . . . 85—108
I. Schichtige Lagerstätten oxydischer Erze . . . . . 108—264
II. Schichtige Lagerstätten sulfidischer Erze . . . . . 264—442
III. Schichtige Phosphoritlager . . . . . 442—456
IV. Schichtige Schwefellager . . . . . 456—470
3. Die Erzgänge . . . . . 471—1006
I. Die Gangspalte . . . . . 471—521
II. Die Gangfüllung im allgemeinen . . . . . 521—566
III. Die Erzformationen . . . . . 566—987
Allgemeines . . . . . 566—571
1. Hydatogene Gänge . . . . . 571—918
2. Pneumatolytisch-hydatogene Gänge . . . . . 918—964
3. Injektions- oder nichtmetasomatische Kontaktlagerstätten . . . . . 964—987
IV. Unbeständigkeit der Erzführung (Rückblick) . . . . . 987—1006

	Seite
4. Die Höhlenfüllungen und	
5. Die metasomatischen Lagerstätten	1007—1239
Allgemeines	1007—1008
I. Die Höhlenfüllungen und metasomatischen Lagerstätten im engeren Sinn	1008-1131
II. Die metasomatischen Kontaktlagerstätten	1131—1188
III. Die Entstehung der epigenetischen Lagerstätten	1188—1239
II. Deuterogene Lagerstätten	1239—1297
6. Die metathetischen Lagerstätten und eluvialen Seifen	1240—1257
Allgemeines	1240—1242
I. Die eluvialen und metathetischen Bauxit-, Eisen-, Mangan- (und Kobalt-) Erze	1242—1251
II. Die eluvialen Goldseifen	1251—1257
7. Die alluvialen Seifen	1258—1297
Allgemeines	1258—1260
I. Die alluvialen Gold- und Platinseifen	1260—1288
a) Die Goldseifen	1261—1284
b) Die Platinseifen	1284—1288
II. Die Zinnerseifen	1288—1294
III. Die Eisenerzseifen	1294—1297
Ergänzungen, Berichtigungen, Ortsregister, Sachregister	1298—1330

Der im Jahre 1895 verstorbene Professor der Geologie an der Freiberger Bergakademie, Bergrat Dr. A. W. Stelzner, dem noch nach seinem Tode der Ruf einer hervorragenden Autorität, besonders auf dem Gebiete der Erzlagerstättengeologie, geblieben ist, konnte seine Absicht, ein gröfseres Werk über diesen Gegenstand herauszugeben, nicht mehr verwirklichen. In seinem Nachlasse fanden sich umfangreiche Aufzeichnungen zu seinen Vorlesungen und sehr vollständige Literaturnotizen vor. Herr Professor Dr. A. Bergeat, bis zu Stelzners Tode dessen Assistent, übernahm es, diese Früchte jahrelanger Arbeit ihrer eigentlichen Bestimmung zuzuführen, indem er sie dem vorliegenden Buche zugrunde legte, um sie unter dem Namen ihres Urhebers weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Was der Verstorbene für den Ausbau der Lagerstättengeologie geleistet hat, sollte als sein Werk überliefert werden; insofern werden gewifs manche seiner Freunde und alten Schüler das Erscheinen dieses Buches begrüfsen. Da aber Stelzner beabsichtigt hatte, ein zeitgemäfses Lehrbuch herauszugeben, so mufste bei der Bearbeitung des letzteren den tatsächlichen Fortschritten der Wissenschaft Rechnung getragen werden, und es erschien ferner unabweislich, die beschreibenden Abschnitte des Werkes erheblich zu erweitern und, entsprechend den zunehmenden Kenntnissen der letzten zehn Jahre, zu vervollständigen. In seinen Grundlinien entspricht das Buch den Vorarbeiten Stelzners, hat aber bei der Bearbeitung beträchtlich an Umfang zugenommen. Aus dem Vorlesungsmanuskript ist ein ausführliches Lehrbuch geworden, welches sich wegen seiner statistischen und historischen Notizen und vor allem auch wegen seiner Literaturverzeichnisse zum Nachschlagewerk eignen wird.


89074782491
B89074782491A




89074782491
b89074782491a